

**AANVULLENDE VERKEERSBELASTING-
PROEVEN REGIONALE KERINGEN 2014**

STOWA

28 oktober 2014
078073547:0.5 - Concept
C03011.000309.0100



Inhoud

1	Inleiding	4
1.1	Aanleiding.....	4
1.2	Doelstellingen.....	4
1.3	Werkzaamheden.....	5
1.4	Leeswijzer.....	5
2	Onderzoeksprotocol praktijkproeven	6
2.1	Criteria onderzoekslocaties.....	6
2.2	Uitvoering veldonderzoek.....	7
2.2.1	Fase 1 – onderzoek bodemopbouw kade.....	7
2.2.2	Fase 2 – plaatsen waterspanningsmeters.....	7
2.2.3	Fase 3 – uitvoering verkeersbelastingproef incl monitoren waterspanningen.....	8
3	Beschrijving onderzoek locaties	11
3.1	Algemeen.....	11
3.2	Oud Alblas (Rivierenland).....	11
3.3	Sudwald (Wetterskip Fryslan).....	12
3.4	Den Hoorn (Delfland).....	13
3.5	Zevenhuizen (Schieland en Krimpenerwaard).....	14
3.6	Monnickendam (Hollands Noorderkwartier).....	15
4	Analyse belastingspreiding	17
4.1	Algemeen.....	17
4.2	Belastingspreiding in dwarsrichting.....	17
4.3	Belastingspreiding in lengterichting (Plaxis 3D).....	18
4.3.1	Inleiding.....	18
4.3.2	Uitgangspunten Plaxis 3D berekening.....	18
4.3.3	Resultaten Plaxis-3d berekeningen.....	19
4.3.4	Conclusie.....	20
4.3.5	Aanbevelingen.....	20
5	Resultaten en interpretatie verkeersbelastingproeven	21
5.1	Algemeen.....	21
5.2	Beschikbare meetresultaten.....	21
5.3	Werkwijze interpretatie meetresultaten.....	21
5.3.1	Grafieken met volledige meetreeks (1).....	21
5.3.2	Grafieken met meetreeks tijdens de dynamische en statische belastingproef.....	22
5.3.3	Dwarsprofiel onderzoekslocaties met maximaal gemeten wateroverspanningen.....	23
5.3.4	Dwarsprofiel onderzoekslocaties met maximale responspercentages.....	24
5.4	Samenvatting geïnterpreteerde meetresultaten proeven 2014.....	24
5.4.1	Algemeen.....	24
5.4.2	Resultaten.....	24
5.5	Samenvatting geïnterpreteerde meetresultaten proeven 2010-2013.....	25
5.5.1	Algemeen.....	25

5.5.2	Resultaten	26
5.6	Conclusies ongedraineerde respons op verkeersbelastingen	27
5.6.1	Algemeen	27
5.6.2	Groene versus verharde kaden	27
5.6.3	Voorstel rekenwaarde respons groene kaden	27
5.6.4	Voorstel rekenwaarde respons verharde kaden	27
5.6.5	Voorstel rekenwaarde respons kaden met halfverharding	28
6	Rekenwaarde bovenbelasting	29
6.1	Enkele vrachtwagen	29
6.2	Bovenbelasting kade met wegverharding	29
6.3	Bovenbelasting "groene" kade	30
7	Invloed verkeersbelasting bij ongedraineerd rekenen	31
8	Conclusies en aanbevelingen	32
8.1	Rekenwaarde bovenbelasting	32
8.1.1	Bovenbelasting Enkele vrachtwagen of "oneindig" lange rij	32
8.1.2	Rekenwaarde Bovenbelasting	32
8.1.3	Bovenbelasting groene kade	32
8.2	Belastingspreiding	33
8.2.1	Belastingspreiding in dwarsrichting	33
8.2.2	Belastingspreiding in Lengterichting	33
8.3	ongedraineerde respons op verkeersbelastingen	33
8.3.1	Groene versus verharde kaden	33
8.3.2	Voorstel rekenwaarde respons groene kaden	34
8.3.3	Voorstel rekenwaarde respons verharde kaden	34
8.3.4	Voorstel rekenwaarde respons kaden met halfverharding	34
8.4	Invloed Overconsolidatie op wateroverspanningen	35
8.5	Invloed verkeersbelasting bij ongedraineerd rekenen	35
	Colofon	36
Bijlage 1	Draiboek uitvoering proeven	37
Bijlage 2	Proef Oud Alblas (Rivierenland)	38
Bijlage 3	Proef Sudwald (Wetterskip)	39
Bijlage 4	Proef Den Hoorn (Delfland)	40
Bijlage 5	Proef Zevenhuizen (Schieland en Krimpenerwaard)	41
Bijlage 6	Proef Monnickendam (Hollands Noorderkwartier)	42
Bijlage 7	Tabel samenvatting verkeersbelastingproeven 2014	43
Bijlage 8	Tabel samenvatting verkeersbelastingproeven 2010-2013	44

Bijlage 9	Plaxis 3D berekeningen	45
Bijlage 9.1	Basissom 2D vs 3D	46
Bijlage 9.2	Gevoeligheidsberekeningen 2D vs 3D.....	47
Bijlage 9.3	Gevoeligheidsberekeningen dunnere fundering 2D vs 3D	48

1 Inleiding

1.1 AANLEIDING

Het Addendum Leidraad Toetsen op Veiligheid betreffende de boezemkaden veronderstelt dat het rekenen met een grote wateroverspanning (0% consolidatie) als gevolg van een verkeersbelasting mogelijk te conservatief is. Dit zou resulteren in het consequent onderschatten van de stabiliteit van de waterkeringen.

Na het uitkomen van het onderzoeksprotocol in 2010 zijn door drie waterschappen op totaal zes locaties praktijkproeven uitgevoerd. Samen met het onderzoek uit 2009-16 zijn de resultaten van negen onderzoekslocaties beschikbaar. Op basis van deze resultaten was het echter nog niet mogelijk om met voldoende zekerheid een uitspraak te doen over de optredende wateroverspanningen. Dit is met name het gevolg van onzekerheden rondom de mate van belastingspreiding. In "ARCADIS, 25 februari 2013, 076938280:A" is de analyse van deze onderzoeken beschreven en zijn aanbevelingen gedaan voor nader onderzoek.

Begin 2014 is de STOWA in samenwerking met vijf waterschappen gestart met het vervolgonderzoek. De aanpak voor het vervolgonderzoek is opgenomen in "Vervolgonderzoek verkeersbelastingen op kades – Meetprotocol, ARCADIS, 16 januari 2014, 077422345:A". Conform de criteria in het protocol zijn in samenwerking met de beheerders vijf onderzoeklocaties gekozen. De praktijkproeven zijn uitgevoerd door Inpijn Blokpoel B.V.

Deze rapportage beschrijft de door ARCADIS uitgevoerde analyse van de uitgevoerde praktijkproeven en de aanbevelingen voor aanpassingen in de nieuwe leidraad toetsen op veiligheid.

1.2 DOELSTELLINGEN

Het vervolgonderzoek tracht antwoord te geven op de volgende onderzoeksvragen omtrent verkeersbelastingen op regionale keringen:

1. Om te berekenen in welke mate een waterkering ongedraineerd reageert als gevolg van een zware (verkeers)belasting, moet eerst bekend zijn hoe de belastingen zich spreiden in de ondergrond.
 - a. De belastingspreiding in de dwarsrichting. De waterspanningsmetingen op verschillende afstanden t.o.v. de belasting geven hier inzicht in.
 - b. De belastingspreiding als gevolg van een wegcunet in de lengterichting. Bij een dik wegcunet is sprake van een aanzienlijke belastingafdracht in de lengterichting, ondanks de relatief langwerpige plaatbelasting (10,0x2,5 meter). De uitgevoerde waterspanningsmetingen geven hier alleen indirect inzicht in (vergelijking tussen kaden met en zonder verharding). Er zijn Plaxis 3D berekeningen uitgevoerd de belastingspreiding in de lengterichting nader te onderzoeken.

2. In hoeverre reageert de ondergrond ongedraineerd op basis van de gespreide belasting. Ofwel mag het consolidatiepercentage in D-geostability op een andere waarde dan 0% worden aangenomen.
3. Keuze voor de maatgevende bovenbelasting, het tonnage en de keuze voor één enkele zware vrachtwagen of een "oneindig" lange rij vrachtwagens.
4. Invloed verkeersbelasting op regionale keringen in relatie tot nieuwe methodiek ongedraineerd rekenen

1.3 WERKZAAMHEDEN

Voor dit onderzoek zijn globaal de volgende werkzaamheden uitgevoerd:

- opstellen onderzoeksprotocol praktijkproeven;
- keuze onderzoeklocaties in samenwerking met de beheerders;
- uitwerken en begeleiding veldonderzoek;
- opstellen spreadsheet voor verwerking ruwe meetresultaten;
- presenteren onderzoeksresultaten;
- analyse data, belastingspreiding in dwarsrichting;
- analyse belastingspreiding in lengterichting met behulp van Plaxis 3D;
- analyse data, in hoeverre reageert de ondergrond ongedraineerd op basis van de gespreide belasting;
- analyse rekenwaarde bovenbelasting;
- analyse invloed rekenmethodiek verkeerbelastingen bij nieuwe toetsmethodiek ongedraineerd rekenen;
- opstellen rapportage.

1.4 LEESWIJZER

De rapportage start in hoofdstuk 1 met een beschrijving van de aanleiding, de doelstellingen en de uitgevoerde werkzaamheden. In hoofdstuk 2 het onderzoeksprotocol beschreven. In hoofdstuk 3 wordt vervolgens een korte beschrijving gegeven van de onderzoeklocaties. Hoofdstuk 4 beschrijft de analyse van de belastingspreiding. In hoofdstuk 5 zijn de onderzoeksresultaten gepresenteerd en verder geïnterpreteerd. In hoofdstuk 6 is vervolgens een korte beschouwing gegeven van de rekenwaarde van de bovenbelasting. In hoofdstuk 7 is de invloed van een aangepaste rekenmethodiek voor verkeersbelastingen onderzocht bij het toepassen van de toekomstige rekenregels met ongedraineerd rekenen. Ten slotte zijn in hoofdstuk 8 alle conclusies en aanbevelingen opgenomen.

2

Onderzoeksprotocol praktijkproeven

In dit hoofdstuk is het meetprotocol voor de keuze van de onderzoekslocaties en de uitvoering van de praktijkproeven opgenomen uit "Vervolgonderzoek verkeersbelastingen op kades – Meetprotocol, ARCADIS, 16 januari 2014, 077422345:A".

2.1 CRITERIA ONDERZOEKSLOCATIES

De locaties voor een praktijkproef zijn zorgvuldig gekozen. Hierbij is rekening gehouden met de volgende aspecten:

1. De onderzoekslocatie betreft een "representatieve" boezemkade voor het betreffende beheergebied. Er is geen sprake van een "zeer" brede kade met bijvoorbeeld een provinciale weg, locaties met hoog achterland, of locaties waar zich binnen de directe invloedzone -2 a 3 meter vanaf de rand- van de proefbelasting een damwand bevind.
2. De locaties is toegankelijk voor het uitvoeren van grondonderzoek en het plaatsen van waterspanningsmeters en is het mogelijk om gedurende ten minste 48 uur een belasting te plaatsen met een afmeting van circa 2 x 5 meter (exacte afmetingen nog nader te bepalen).
3. Bij de locatiekeuze dient de noodzaak tot het nemen van verkeersmaatregelen zo klein mogelijk gehouden te worden.
4. Ten aanzien van de onderzoekslocaties is de stabiliteit van de waterkering op de betreffende locaties voldoende gegarandeerd (op basis van toets en/of beheerdersoordeel).
5. Bij de onderzoekslocaties is er geen sprake van recente ophogingen waardoor er nog wateroverspanningen in de dijk aanwezig zijn
6. Van de kade is op dit moment al ten minste de volgende informatie beschikbaar (bij voorkeur op of ter hoogte van de voorgestelde onderzoekslocatie):
 - a. Geometrie.
 - b. Bodemopbouw op basis van boringen en sonderingen.
 - c. Ligging freatische peil in de kruin van de kade onder normale omstandigheden, bij voorkeur vastgesteld op basis van peilbuismetingen en/of waterspanningsmetingen.
7. De proeflocatie heeft onder "normale" omstandigheden al een hoog freatische peil in de kade. Niet lager dan 1,5 a 2,0 meter onder maaiveld, bij voorkeur hoger. De waterspanningsmeters kunnen dan op een relatief geringe diepte onder het maaiveldniveau worden geplaatst. Kades met een hoog freatisch peil zijn vanwege groter optredende wateroverspanningen ook gevoeliger voor de invloed van een verkeersbelasting en daarmee meer relevant voor het onderzoek.
8. Is er sprake van een aaneengesloten cohesief lagenpakket in de kern van de dijk tot ten minste 5 meter onder maaiveld. Locaties met zand in de kern vallen af. Een doorlatende toplaag tot maximaal 1 a 1,5 meter onder maaiveld is geen probleem.

2.2 UITVOERING VELDONDERZOEK

Er zijn drie fases onderscheiden voor de uitvoering van het veldonderzoek:

1. Nader in beeld brengen van zowel de bodemopbouw van het dijklichaam, de opbouw en afmetingen van een eventueel wegcunet en het verloop van de freatische lijn en stijghoogtes in en onder het dijklichaam.
2. Het plaatsen van waterspanningsmeters en monitoren van de waterspanningen.
3. Uitvoering van de verkeersbelastingproeven inclusief monitoring waterspanningen

2.2.1 FASE 1 – ONDERZOEK BODEMOPBOUW KADE

De gegeven aantallen betreffen het minimaal vereiste (grond)onderzoek:

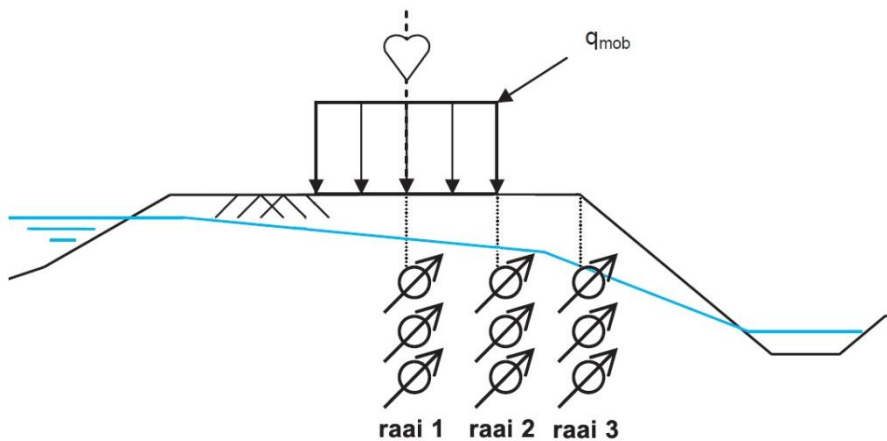
- 1x dwarsprofiel inmeten over lengte van 40 meter.
- 2x sondering in de kruin van de dijk tot een diepte van 20 m – MV inclusief meting van de plaatselijke kleef en de optredende waterspanning.
- 2x boring ten behoeve van een geotechnische classificatie van de bodemopbouw aan weerszijden van de kruin van de dijk (binnen- en buitenkruinlijn) tot een diepte van 6 m –MV
- 2x plaatsen van peilbuizen in boorgaten inclusief filteromstorting en afwerking met een straatpot, onderkant filter 3 m – MV met een filterlengte van 1 m;
- 1x mechanische boring ten behoeve van een geotechnische classificatie van de bodemopbouw in het hart van de kruin tot 10 m – MV inclusief het steken van 10 ongeroerde monsters met behulp van Ackermannbussen;
- 1x kernboring tot 0,40 m -MV door verharding t.b.v. mechanische boringen inclusief beschrijving van de opbouw van de verharding (onderscheid tussen asfalt, puinverharding, grind, zand etc.)
- 10x classificatie en bepaling volumegewicht en watergehalte;
- Het bepalen van de actuele grondwaterstand en GLG en GHG op basis van hydromorfe profielkenmerken;
- Het inmeten van de onderzoekspunten t.o.v. NAP inclusief een nabijgelegen wegpeil en (zo mogelijk) de waterpeilen in boezem en eventueel aanwezige teensloot;
- Vastleggen onderzoekspunten in RD;
- In geval een sondering wordt voorgeboord, dient van deze voorboring een boorstaat te worden opgeleverd in GEF en PDF Uitvoeren revisie van de boorstaten indien laboratoriumonderzoek (classificatie) is uitgevoerd op gestoken (on)geroerde monsters;
- Het digitaal leveren van de sonderingen en boorstaten in GEF-formaat en PDF.

2.2.2 FASE 2 – PLAATSEN WATERSPANNINGSMETERS

Fase 2 betreft het plaatsen van de waterspanningsmeters per onderzoekslocatie:

- plaatsen van 9 waterspanningsmeters in 3 verticalen of “raaien” conform het principe zoals getoond in figuur 1.
- plaatsen van 1 waterspanningsmeter t.b.v. referentiemeting buiten geplande proefbelasting.
- een “raai” mag bestaan uit 3 afzonderlijke waterspanningsmeters of een keten bestaande uit drie (of meer) waterspanningsmeters (deze keuze dient overlegd te worden met de opdrachtgever).

- 10x kernboring tot 0,40 m -MV door verharding voor plaatsen waterspanningsmeters onder de wegverharding inclusief beschrijving van de opbouw van de verharding (onderscheid tussen asfalt, puinverharding, grind, zand etc.). Indien per raai een keten van drie waterspanningsmeters wordt geplaatst mag gerekend worden met 4 kernboringen tot 0,40 m -MV.
- Waterspanningsmeters worden permanent of tijdelijk geplaatst, dit is afhankelijk van de uiteindelijke onderzoekslocaties en de wens van de deelnemende partijen. In het aanbiedingsformulier wordt gevraagd voor beide opties een prijs op te nemen.
- Continuumeting vindt plaats gedurende drie weken waarvan twee weken voorafgaand aan de proef (nul meting).
- De meetresultaten worden gepresenteerd in waterstanden ten opzichte van NAP gecompenseerd voor de luchtdruk.
- Uitvoeren van peilbuismetingen in beide peilbuizen gedurende 4 weken (1/week) voorafgaand aan het plaatsen van de waterspanningsmeters.
- Digitaal leveren van de meetresultaten in PDF en in Excel.



Figuur 1: principe plaatsen waterspanningsmeters in dwarsdoorsnede

Opgemerkt wordt dat de ervaringen met “standaard” waterspanningsmeters wisselend zijn. Bij deze proeven is daarom gebruik gemaakt van speciaal aangepaste waterspanningsmeters. Het ontwerp van de aangepaste waterspanningsmeter is erop gericht om te anticiperen op de wens om over een relatief korte tijdspanne (seconden) veranderingen in de waterspanning te kunnen registreren en daarnaast om te voorkomen dat de aanwezige kleilagen het filter kunnen verstoppen en daarmee de meetresultaten beïnvloeden. Om dit te bereiken is de waterspanningsmeting met een doorlatende ring uitgevoerd met eenzelfde diameter als de waterspanningsmeter (net als bij een waterspanningsmeting in een piëzoconus bij sonderen), in plaats van de standaard 4 gaatjes met filter.

2.2.3 FASE 3 – UITVOERING VERKEERSBELASTINGPROEF INCL MONITOREN WATERSPANNINGEN

Fase 3 betreft de uitvoering van de verkeersbelastingproef. Er zijn voorwaarden gesteld aan:

- de meetduur;
- statische belastingproef met plaatbelasting;
- dynamische belastingproef

Meetduur (beheerder)

Uit eerder uitgevoerd onderzoek (STOWA, ORK 200916, Onderzoek naar de schematisering van verkeersbelasting op kades) blijkt dat de grootste waterspanningen optreden bij een statische verkeersbelasting op de kade. Het valt niet uit te sluiten dat een verkeersbelasting op een kade langere tijd aanwezig is. Daarom wordt in deze praktijkproef uitgegaan van een statische verkeersbelasting.

Conform het protocol dient de verkeersbelasting minimaal 24 uur aanwezig te zijn. Bij uitvoering in het weekend (uitgangspunt bij deze proeven) zal de verkeersbelasting circa 60 tot 72 uur aanwezig zijn.

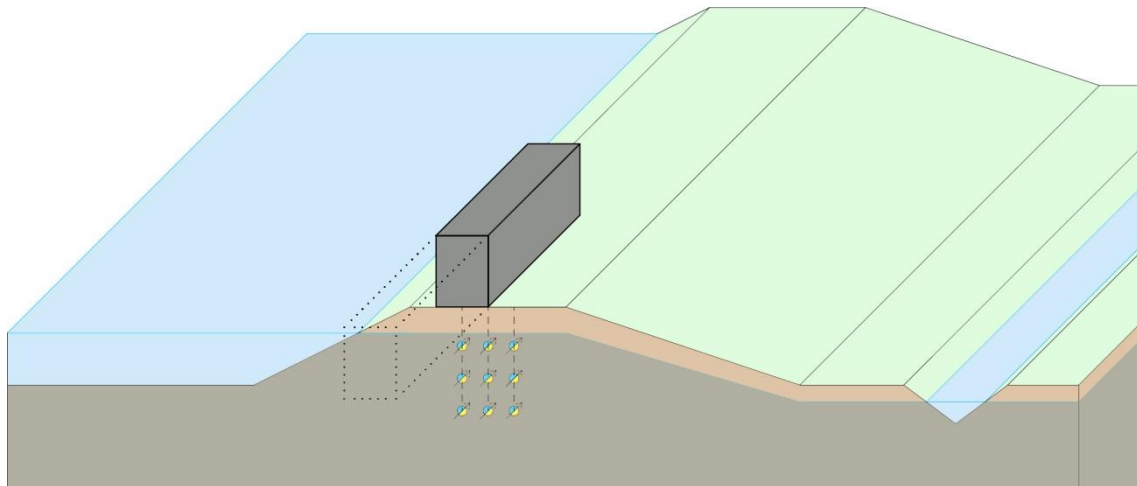
Statische belasting met plaatbelasting (beheerder)

Voor de uitvoering van deze proeven moet een statische belasting worden aangebracht. In het Addendum LTV wordt een vrachtwagen als belasting voorgeschreven. Het gebruik van een vrachtwagen introduceert extra onzekerheden in de proef ten aanzien van de belastingspreiding (3D effecten). Ten aanzien van de belastingspreiding bestaan al grote onzekerheden.

Voor deze proeven wordt daarom voorgeschreven om een container met een vlakke bodem te gebruiken. Een dergelijke belasting is veel beter te modelleren in een (2D) model. De aan te brengen belasting dient een plaatbelasting te zijn met een totaal oppervlak van circa 2 x 10 meter. Zowel het gewicht als de afmetingen moeten exact bekend zijn. De ondergrond waarop de container wordt aanbracht moet vlak zijn, zodat de belasting gelijkmatig wordt afgedragen.

De belasting dient circa 13 kN/m² te bedragen. Dezelfde waarde als toegepast in de stabiliteitsberekeningen. Bij de opgegeven afmetingen van de container komt dit overeen met een vrachtwagen van circa 25 tot 30 ton.

De beheerder dient aan te geven wat de maximale belasting totaalbelasting mag zijn en/of de maximale belasting per m² zonder dat de kade in gevaar komt.



Figuur 2: Voorbeeld plaatbelasting met afmeting 2x10 meter en waterspanningsmeters

Dynamische belasting met vrachtwagen (beheerder)

Naast de statistische belastingproeven dienen dynamische belastingproeven uitgevoerd te worden met de vrachtwagen (met container of platen). Zowel het totaalgewicht, het gewicht per as en de afmetingen moeten exact bekend zijn.

De proef betreft: vijfmaal meten van langzaam rijdende belasting en vijfmaal afwisselend 60 seconden geen belasting en een stilstaande belasting gedurende 60 seconden. De vrachtwagen met de achterwielen recht boven de sensoren plaatsen

Uit deze metingen volgt of en in welke mate er sprake is van accumulatie van waterspanningen bij herhaalde belasting.

Statische belasting met vrachtwagen – optioneel (beheerder)

Voor een betere vertaling van de optredende belastingen in de ondergrond bij een werkelijke verkeersbelasting is het zinvol om naast de statische proef met een plaatbelasting (exacte belasting per vierkante meter bekend) nog een proef uit te voeren met een vrachtwagen. Deze proef moet plaatsvinden na consolidatie van de wateroverspanningen, minstens 24 uur na het verwijderen van de plaatbelasting.

Monitoring waterspanningen (STOWA+beheerder)

Ten aanzien van de monitoring gelden de volgende eisen:

- De waterspanningsmeters worden circa 2 weken voor aanvang van de praktijkproef aangebracht. Op deze manier is de (mogelijk) opgetreden wateroverspanning als gevolg van het aanbrengen van de waterspanningsmeters afgevoerd. Gedurende de rustperiode van 2 weken zijn de waterspanningen wel gemeten, deze meting dient als nulmeting.
- Voor de uitvoering van de (dynamische) verkeersbelastingproeven moeten op locatie realtime (maximaal enkele minuten vertraging) meetresultaten beschikbaar zijn met waarden t.o.v. NAP (via online verbinding of door aansluiten van laptop op locatie).
- Tijdens de uitvoering van de dynamische (verkeers-) belastingproeven is een hoge meetfrequentie vereist van 1 meting/seconde.
- Direct voorafgaand, tijdens (eenmaal) en direct na het verwijderen van de (verkeers-) belasting worden peilbuismetingen verricht in beide peilbuizen.

3

Beschrijving onderzoek locaties

3.1 ALGEMEEN

Conform de criteria in het protocol zijn in samenwerking met de beheerders vijf onderzoeklocaties gekozen. Twee locaties met een wegverharding, een locatie met een halfverharding en twee op een groene kade. In Tabel 1 zijn de belangrijkste kenmerken van de locaties samengevat.

Onderzoekslocatie	Informatie wegcunet			Bodemopbouw	
	Type	Dikte	Breedte	Kenmerkend	Beschrijving bodemopbouw t.p.v. verkeersbelastingproef
[-]	[-]	[m]	[m]	[-]	[-]
Oud Alblas (Rivierenland)	Groen	-	-	Klei op veen	Klei, siltig humeus tot 2,2 m-mv, veen tot 3,9 m-mv, klei, siltig humeus tot 10 m-mv
Sudwald (Wetterskip Fryslan)	Groen	-	-	Klei op veen	Klei, siltig humeus tot 1,5 m-mv, veen tot 3,8 m-mv, klei, zand/grind tot 10 m-mv
Den Hoorn (Delfland)	Half-verharding	0,45	3,10	Klei	Klei, zandig humeus tot 3,8 m-mv, veen tot 4,8 m-mv, klei, zandig humeus tot 10,0 m-mv
Zevenhuizen (Schieland en Krimpenerwaard)	Verharding	2,10	5,00	Veen kleilig	Veen, kleilig tot 7,4 m -mv, klei siltig humeus tot 10 m -mv
Monnickendam (Hollands Noorderkwartier)	Verharding	1,00	3,55	Klei op veen	Klei, siltig humeus tot 2,4 m-mv, veen tot 4,4 m-mv, klei, zandig humeus tot 8,4 m-mv

Tabel 1: Onderzoekslocaties

3.2 OUD ALBLAS (RIVIERENLAND)

De locatie voor de praktijkproef bij Waterschap Rivierenland betreft een groene kade. Bij het uitvoeren van de dynamische proef liep de vrachtwagen vast op de kade. Deze kade is ook onderzocht in het kader van de consequentie analyse ongedraineerd rekenen. In Figuur 3 en Figuur 4 zijn foto's van de proef weergegeven.



Figuur 3: Dynamische proef Oud Alblas, vrachtwagen loopt vast



Figuur 4: Statische belasting Oud Alblas

3.3 SUDWALD (WETTERSKIP FRYSLAN)

De locatie voor de praktijkproef bij Wetterskip Fryslan betreft een groene kade. Bij het uitvoeren van de dynamische proef liep ook hier de vrachtwagen vast op de kade. In Figuur 5 t/m Figuur 6 zijn enkele foto's van de proef weergegeven.



Figuur 5: Dynamische proef Sudwald, vrachtwagen loopt vast



Figuur 6: Statische belasting Sudwald

3.4 DEN HOORN (DELFLAND)

De locatie voor de praktijkproef bij het Hoogheemraadschap van Delfland betreft een kade met een half verharding. Op deze locaties is naast de dynamische proef met de vrachtwagen en de statische proef met een plaatbelasting ook een statische proef met vrachtwagen uitgevoerd. In Figuur 7 is een foto van de proef weergegeven.



Figuur 7: Dynamische proef Den Doorn

3.5 ZEVENHUIZEN (SCHIELAND EN KRIMPENERWAARD)

De locatie voor de praktijkproef bij het Hoogheemraadschap van Schieland en Krimpenerwaard betreft een kade met dikke verharding. In Figuur 8 en Figuur 9 is een foto van de proef weergegeven.



Figuur 8: Dynamische proef Zevenhuizen



Figuur 9: Statische belasting Zevenhuizen

3.6 MONNICKENDAM (HOLLANDS NOORDERKWARTIER)

De locatie voor de praktijkproef bij het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier betreft een kade met verharding. In Figuur 10 en Figuur 11 zijn foto's van de proef weergegeven.



Figuur 10: Dynamische proef Monnickendam



Figuur 11: Statische belasting Monnickendam

4

Analyse belastingspreiding

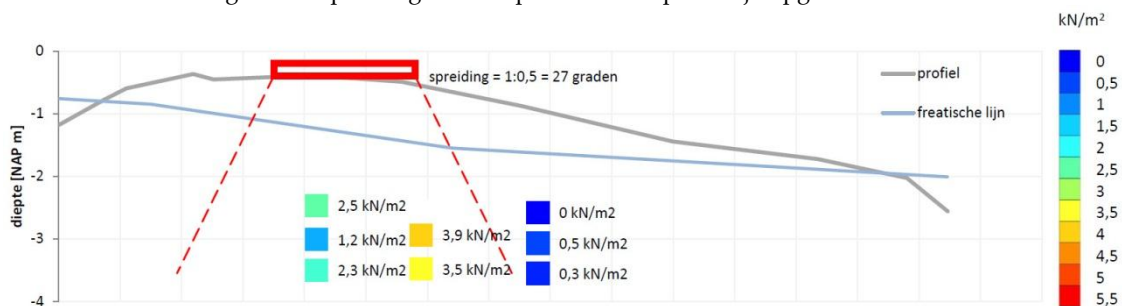
4.1 ALGEMEEN

Om te berekenen in welke mate een waterkering ongedraineerd reageert als gevolg van een zware (verkeers)belasting, moet eerst bekend zijn hoe de belastingen zich spreiden in de ondergrond. Zowel in de dwarsrichting als de lengterichting.

4.2 BELASTINGSPREIDING IN DWARSRICHTING

Op basis van de analyses van de vijf onderzoeklocaties lijkt er sprake te zijn van een relatief beperkte belastingspreiding in de ondergrond. De waterspanningsmetingen op verschillende dieptes en afstanden t.o.v. de belasting geven hier inzicht in. In Figuur 12 is de werkwijze weergegeven. Uit de metingen volgt dat voor deze locaties bij de proef de spreiding maximaal 1:0,5 is, maar waarschijnlijk lager. In Bijlage 2 t/m Bijlage 6 zijn van alle proeven de resultaten op deze wijze gepresenteerd. In Bijlage 7 is een samenvattingstabel opgenomen.

De geïnterpreteerde spreidingshoeken van de verschillende proeven variëren tussen maximaal 1:0,5 (27 graden) en 1:0,75 (37 graden). Deze waarden betreffen in principe de bovengrenswaarden. Bij een grotere belastingspreiding worden hogere responspercentages berekend. Door een bovengrens van de belastingspreiding te kiezen wordt voorkomen dat de mate waarin de ondergrond gedraineerd reageert wordt overschat. De gekozen spreidingshoeken per locatie en proef zijn opgenomen in Tabel 4 en Tabel 5.



Figuur 12: Gemeten maximale wateroverspanningen locatie Oud Alblas bij statische belastingproef, schatting spreiding belasting.

NB. Indien er een wegcunet aanwezig is spreidt de belasting zich in eerste instantie over de breedte van het wegcunet (dit wordt niet direct gemeten, maar mag logischerwijs worden verondersteld). Dit effect is nu niet meegenomen, er is alleen gerekend meteen overall spreidingshoek.

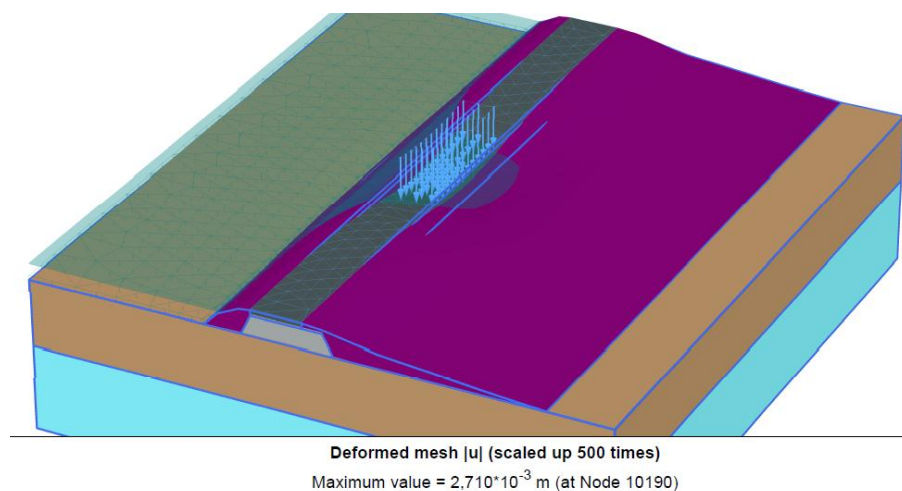
4.3 BELASTINGSPREIDING IN LENGTERICHTING (PLAXIS 3D)

4.3.1 INLEIDING

Bij één enkele vrachtwagen/plaatbelasting (zoals in de praktijkproeven) treden vanwege belastingspreiding in de lengterichting van een wegcunet, lagere wateroverspanningen op onder het wegcunet, dan bij een “oneindig” lange rij vrachtwagens.

Dit 3D effect kan voor een deel de relatief lage waarden van de gemeten wateroverspanningen onder de dijk verklaren. In welke mate dit effect invloed heeft, is belangrijk om te duiden in hoeverre de lage wateroverspanningen het gevolg zijn van belastingspreiding en in hoeverre van ongedraineerd gedrag.

Er zijn oriënterende Plaxis 3D berekeningen uitgevoerd voor de locatie Zevenhuizen. De locatie Zevenhuizen is uitgekozen omdat hier een zeer dik wegcunet aanwezig is van 2 meter dik. In deze situatie moet sprake zijn van een significante belastingspreiding in de lengterichting. In Figuur 13 is de uitvoer van de Plaxis 3D som weergegeven van de praktijkproef.



Figuur 13: Plaxis 3D berekening met 3D belasting voor locatie Zevenhuizen

4.3.2 UITGANGSPUNTEN PLAXIS 3D BEREKENING

Voor de berekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De ondergrond wordt verondersteld volledig overgeconsolideerd te reageren op de verkeersbelasting van 13 kN/m². Dit lijkt een realistisch uitgangspunt voor een verharde kade die al gedurende tientallen jaren dag in dag uit belast wordt door zwaar verkeer in combinatie met waterstandsvariaties en aging. De invloed van een voorbelasting is significant. Overgeconsolideerde grond reageert veel stijver, waardoor aanzienlijk minder wateroverspanningen worden gegenereerd.
- De geotechnische parameters voor zowel de basissom als de gevoeligheidsberekeningen zijn opgenomen in Tabel 2.

- De verschillende fasen voor de opbouw van de Plaxis 3D-berekeningen zijn opgenomen in Figuur 14. In fase 1 wordt het dijklichaam aangebracht. Fase 2 t/m 5 simuleert belastingen uit het verleden. In fase 2 en 3 wordt de grondwaterstand gevarieerd tot 1 meter lager dan tijdens de uitvoering van de proef. In fase 4 en 5 wordt de dijk voorbelast over de gehele breedte en lengte van de kruin met een belasting van 15 kN/m². Fase 6 betreft een 0-stap. In fase 7 wordt een 3D belasting van 13 kN/m² gesimuleerd (enkele vrachtwagen van 10,0x2,5 meter). In fase 8 wordt een 2D belasting van 13 kN/m² gesimuleerd over een oneindige lengte (vrachtwagens kop aan staart geparkeerd).

PLAXIS 3D sommen	Asfalt		Fundering		Klei venig (relevante laag voor WOSP OCR)					Klei zandig					
	dikte [m]	E-modulus [Mpa]	dikte [m]	E-modulus [Mpa]	dikte [m]	E50 [Kpa]	Eoed [Kpa]	Eur [Kpa]	m [-]		dikte [m]	E50 [Kpa]	Eoed [Kpa]	Eur [Kpa]	m [-]
Zevenhuizen Basissom	0,4	2000000	1,6	400000	5,35	3000	3000	10000	1	1,3	6,7	12000	12000	30000	0,8
Fundering+asfalt 4,0x stijver	0,4	8000000	1,6	1600000	5,35	3000	3000	10000	1	1,5	6,7	12000	12000	30000	0,8
Fundering+asfalt 0,5x stijver	0,4	1000000	1,6	200000	5,35	3000	3000	10000	1	1,5	6,7	12000	12000	30000	0,8
Fundering+asfalt 0,25x stijver	0,4	500000	1,6	100000	5,35	3000	3000	10000	1	1,5	6,7	12000	12000	30000	0,8
Ondergrond 0,5x stijver	0,4	2000000	1,6	400000	5,35	1500	1500	5000	1	1,5	6,7	12000	12000	30000	0,8
Ondergrond 2x stijver	0,4	2000000	1,6	400000	5,35	6000	6000	20000	1	1,5	6,7	12000	12000	30000	0,8
Ondergrond 4x stijver	0,4	2000000	1,6	400000	5,35	12000	12000	40000	1	1,5	6,7	12000	12000	30000	0,8
Fundering dikte x0,5	0,2	2000000	0,8	400000	5,35	3000	3000	10000	1	1,5	6,7	12000	12000	30000	0,8
Ondergrond 2x stijver	0,2	2000000	0,8	400000	5,35	6000	6000	20000	1	1,5	6,7	12000	12000	30000	0,8

Tabel 2: Geotechnische parameters Plaxis 3D-berekeningen



Figuur 14: Fasen Plaxis-3d berekeningen

4.3.3 RESULTATEN PLAXIS-3D BEREKENINGEN

Uit de oriënterende Plaxis 3D berekeningen volgt voor de locatie Zevenhuizen een best guess reductiefactor van 1,50 a 1,55 door spreiding in de lengterichting. De reductiefactor is bepaald door de gemiddelde optredende wateroverspanning onder het wegcunet tussen de 2D en 3D belasting te vergelijken.

De resultaten van de basissom en alle gevoeligheidsberekeningen zijn weergegeven in Tabel 3. Er zijn diverse gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd met de stijfheid van de fundering en de stijfheid van de ondergrond voor deze locatie. De stijfheid van zowel het wegcunet (asfalt+fundering) als de ondergrond heeft relatief weinig invloed. De reductiefactor varieert tussen minimaal 1,35 en maximaal 1,85 met als belangrijke kanttekening dat een 4x keer en 0,25x stijver wegcunet niet als realistisch wordt gezien. Ofwel realistisch gezien varieert de reductiefactor tussen de 1,50 en 1,75.

De dikte van de fundering en het asfalt heeft uiteraard wel veel invloed. Bij een totale dikte van de 1,0 meter neemt de reductiefactor af naar 1,35 a 1,40.

De uitvoer van de Plaxis berekeningen is opgenomen in Bijlage 9.1 t/m Bijlage 9.3.

PLAXIS 3D sommen	Toename 3D WOSP;gemiddeld [kPa]	Toename 2D WOSP;gemiddeld [kPa]	Reductie als gevolg van 3D spreiding [-]
Som			
Zevenhuizen Basissom	2,25	3,50	1,55
Fundering+asfalt 4,0x stijver	1,75	3,25	1,85
Fundering+asfalt 0,5x stijver	2,50	3,75	1,50
Fundering+asfalt 0,25x stijver	2,75	3,75	1,35
Ondergrond 0,5x stijver	2,00	3,50	1,75
Ondergrond 2x stijver	2,25	3,50	1,55
Ondergrond 4x stijver	2,25	3,35	1,50
Fundering dikte x0,5	2,85	4,00	1,40
Ondergrond 2x stijver	2,85	3,80	1,35

Tabel 3: Uitkomsten reductie als gevolg van 3D-spreiding

4.3.4 CONCLUSIE

De best guess reductiefactor van de optredende wateroverspanningen als gevolg van belastingspreiding in de lengterichting is een factor 1,50 a 1,55 bij een wegconstructie van 2 meter dik. Bij een wegconstructie van 1 meter is de best guess reductiefactor is 1,35 a 1,40.

Dit betekent dat de lage gemeten wateroverspanningen (ook bij proeven uitgevoerd in het verleden) bij de boezemkaden met een wegfundering voor een deel te verklaren zijn door belastingspreiding in de lengterichting.

4.3.5 AANBEVELINGEN

Literatuuronderzoek wateroverspanningen in overgeconsolideerde grond

In Plaxis worden minder wateroverspanningen gegenereerd in overgeconsolideerde grond. De maximaal optredende wateroverspanningen nemen echter niet sterker af naarmate de grond sterker is overgeconsolideerd. In werkelijkheid zal een sterker overgeconsolideerde ondergrond mogelijk nog minder sterk reageren. Dit is mogelijk een verklaring waarom de berekende wateroverspanningen in Plaxis ook met het meenemen van volledige 3d-belastingspreiding en overgeconsolideerd gedrag nog steeds een factor 3 hoger ligt dan gemeten.

Aanvullende 3D-berekeningen

Om de invloed van een wegfundering op belastingspreiding in de lengterichting nader vast te stellen wordt aanbevolen om aanvullende PLAXIS-3D berekeningen uit te voeren. Berekeningen met andere geometrieën, diverse configuraties van de bodemopbouw (slap op stijf, stijf op slap etc.) en eventueel nog met andere modellen in PLAXIS. De optredende vervormingen als gevolg van een verkeersbelasting zijn normaliter zeer klein. Het Hardening Soil model overschat de vervormingen en daarmee ook de optredende wateroverspanningen. Het Hardening Soil Small Strain model sluit mogelijk beter aan bij de werkelijkheid.

5

Resultaten en interpretatie verkeersbelastingproeven

5.1 ALGEMEEN

In hoeverre reageert de ondergrond ongedraineerd op basis van de (gespreide) belasting. Ofwel mag het consolidatiepercentage in D-geostability op een andere waarde dan 0% worden aangenomen.

5.2 BESCHIKBARE MEETRESULTATEN

De verkeersbelastingproeven inclusief het bijbehorende veld- en laboratoriumonderzoek zijn uitgevoerd door Inpijn Blokpoel. Van deze onderzoeken zijn 5 rapportages opgeleverd (niet bijgevoegd bij dit rapport):

- 02P004184-RG-01 Geotechnisch grondonderzoek Schematisering Wateroverspanning verkeersbelastingproef te Oud Alblas.
- 06P000760-02-RG-01 Verkeersbelastingproef Wetterskip Fryslan aan de Alde Lunewei te Sudwâld.
- 06P000760-01-RG-01 Verkeersbelastingproef Delfland aan de Zwethkade Zuid te Den Hoorn.
- 06P000760-RG-01 Verkeersbelastingproef HHSK aan de Rottekade - Middelweg te Zevenhuizen.
- 06P000760-03-RG-02 Verkeersbelastingproef HNNK aan de Kloosterdijk te Monnickendam.

In de rapportages van Inpijn Blokpoel zijn de ruwe meetresultaten gepresenteerd, maar niet geïnterpreteerd. De interpretatie van de meetresultaten is in dit hoofdstuk beschreven.

5.3 WERKWIJZE INTERPRETATIE MEETRESULTATEN

Voor de verwerking van de meetresultaten is een spreadsheet opgesteld waarin het mogelijk is de resultaten op zodanige wijze te presenteren dat verdere interpretatie mogelijk is. Per proef zijn verschillende grafieken en figuren gepresenteerd toegelicht in paragraaf 5.3.1 t/m 5.3.4.

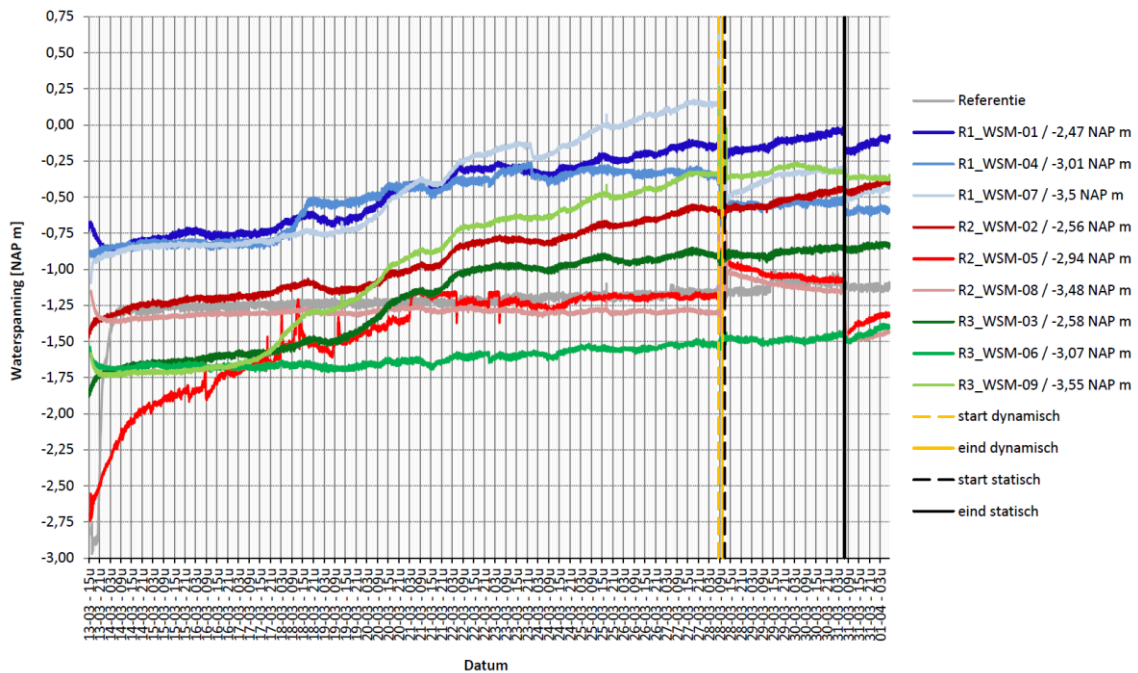
In deze paragraaf zijn als voorbeeld resultaten weergegeven van de proef bij Oud Alblas. De volledige uitvoer van alle vijf de onderzoekslocaties is opgenomen in Bijlage 2 t/m Bijlage 6.

5.3.1 GRAFIEKEN MET VOLLEDIGE MEETREEKS (1)

Per onderzoekslocatie zijn grafieken opgesteld met de volledige meetreeks van 10 waterspanningsmeters weergegeven in meters t.o.v. NAP uitgezet in de tijd. In de grafiek is het begin en einde van de dynamische en statische belastingproef weergegeven. In de grafieken zijn tevens de verschillende meettraaien duidelijk onderscheiden:

- Raai 1=R1 met 3 waterspanningsmeters (blauw) – direct onder belasting
- Raai 2=R2 met 3 waterspanningsmeters (rood) – direct naast belasting

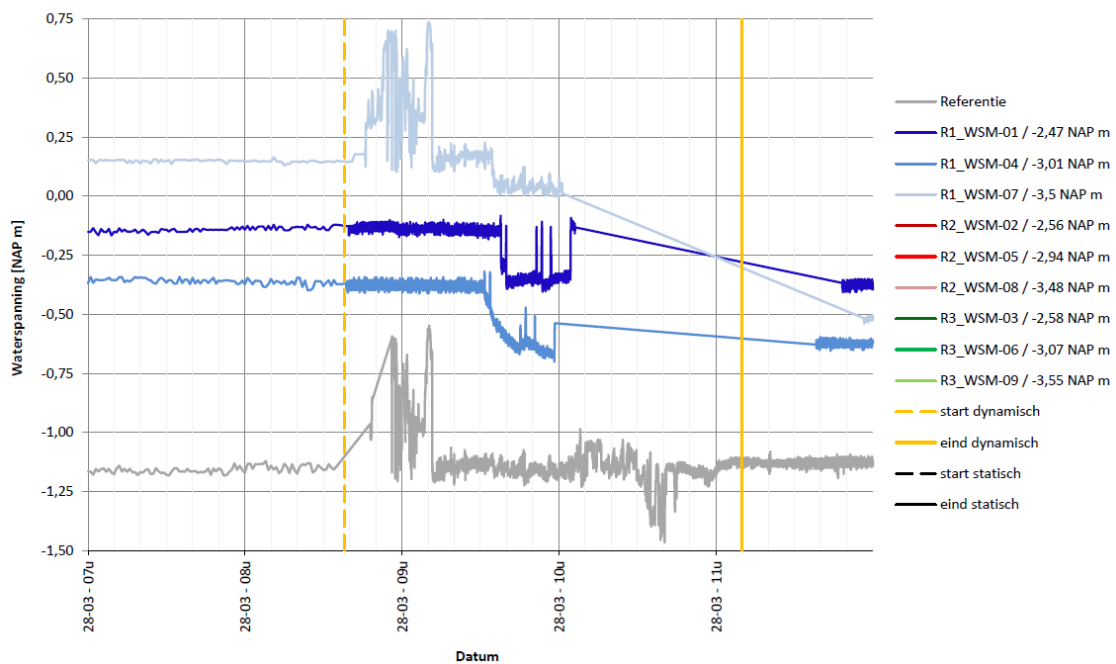
- Raai 3=R3 met 3 waterspanningsmeters (groen) – enkele meter(s) naast belasting
- Referentie (grijs) – buiten invloed belasting



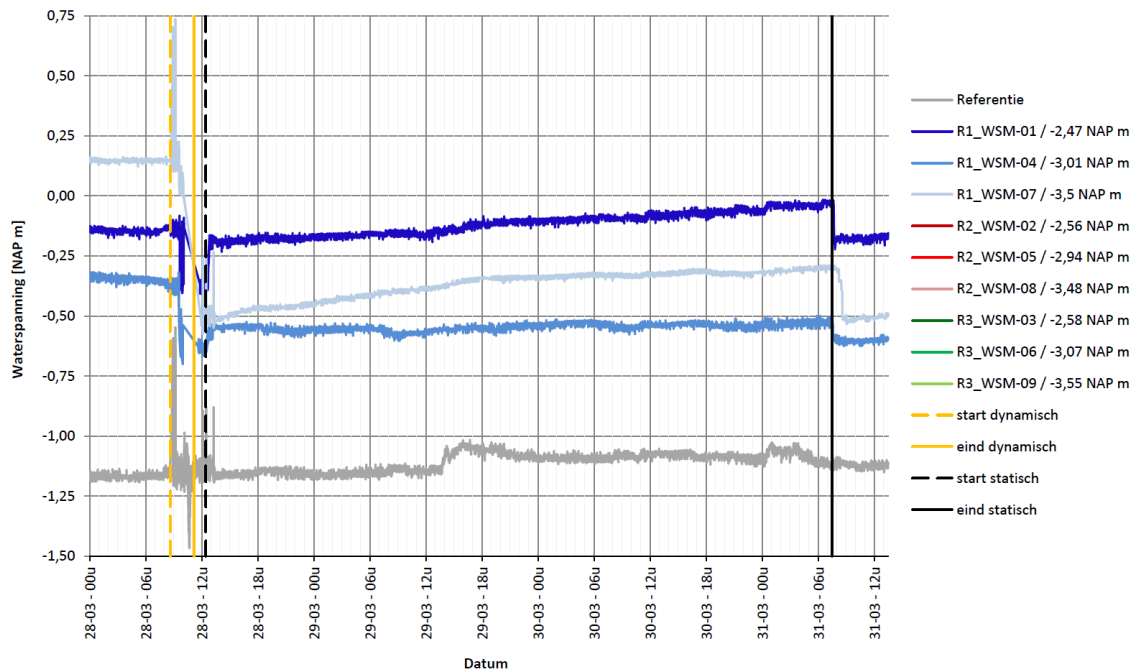
Figuur 15: Volledige meetreeks van 10 waterspanningsmeters weergegeven in meters t.o.v. NAP uitgezet in de tijd

5.3.2 GRAFIKEN MET MEETREEKS TIJDENS DE DYNAMISCHE EN STATISCHE BELASTINGPROEF

Per onderzoekslocatie zijn grafieken opgesteld per meetraai met de meetreeks tijdens de dynamische en statische proef. Uit deze grafieken is af te lezen wat de maximale respons in meters is als gevolg van de belastingproeven in raai 1.



Figuur 16: Meetreeks tijdens dynamische proef van raai 1=R1 (direct onder de belasting)



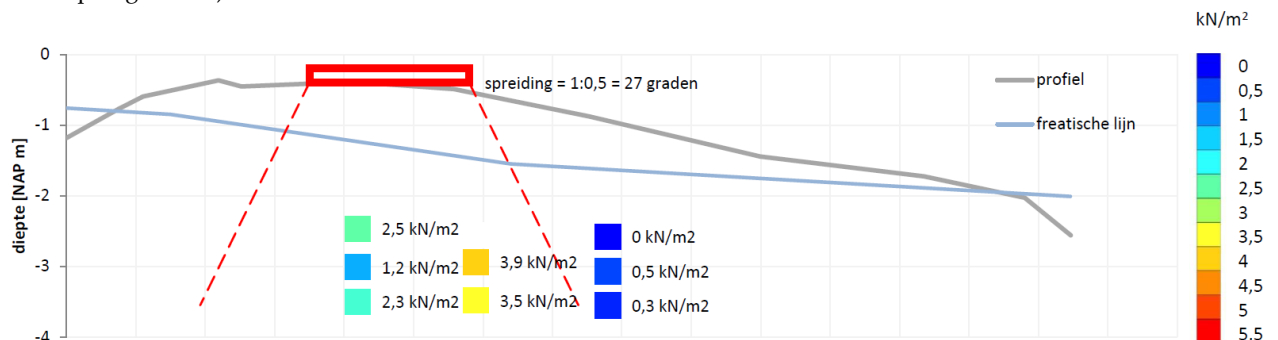
Figuur 17: Meetreeks tijdens statische proef van raai 1=R1 (direct onder de belasting)

5.3.3 DWARSPROFIEL ONDERZOEKSLOCATIES MET MAXIMAAL GEMETEN WATEROVERSPANNINGEN

Met behulp van de gepresenteerde grafieken is per waterspanningsmeter per proef (dynamisch of statisch) bepaald wat de maximale gemeten respons is. Deze resultaten zijn verwerkt in figuren met:

- locaties van de waterspanningsmeters inclusief de geïnterpreteerde maximale gemeten wateroverspanning
- locatie aangebrachte belasting, afmetingen wegcunet, ligging freatische lijn

Op basis hiervan is het mogelijk om de spreidingshoek te schatten van de belasting in dwarsrichting (zie tevens paragraaf 4.2).

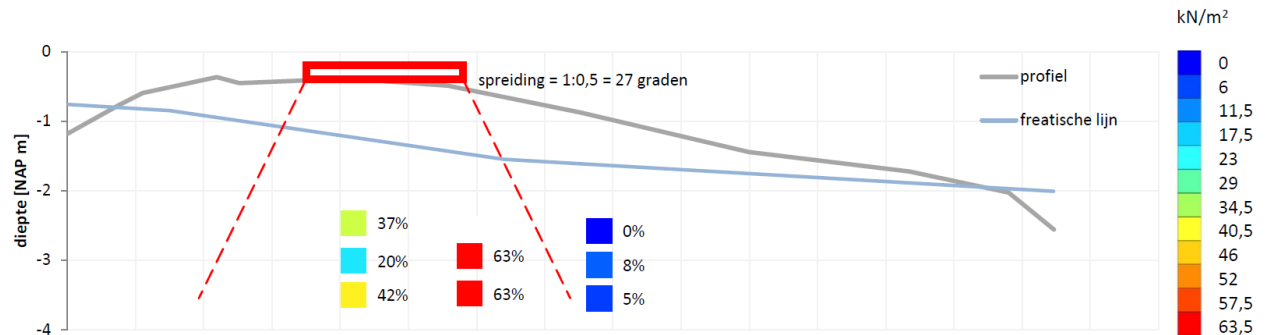


Figuur 18: Maximaal gemeten wateroverspanningen statische belastingproef Oud Alblas

5.3.4 DWARSPROFIEL ONDERZOEKSLOCATIES MET MAXIMALE RESPONSPERCENTAGES

Op basis van de geschatte belastingspreiding en de maximaal gemeten wateroverspanning wordt berekend wat de maximale respons is per waterspanningsmeter op de aangebrachte bovenbelasting van 13 kN/m² over 2,5x10 meter.

De berekening van de belastingspreiding in de spreadsheet is hetzelfde als in D-geostability. De resultaten kunnen daarmee één op één vergeleken worden. Bij een respons van 100% op de bovenbelasting is de degree of consolidation in D-geostability 0%. In het geval van deze proef op een groene kade is de maximale gemeten respons op de bovenbelasting 63%. In D-geostability kan in het geval van deze proef gerekend worden met een degree of consolidation van 37% in plaats van 0%.



Figuur 19: Maximaal gemeten wateroverspanningen statische belastingproef Oud Alblas

5.4 SAMENVATTING GEINTERPRETEERDE MEETRESULTATEN PROEVEN 2014

5.4.1 ALGEMEEN

Conform de werkwijze beschreven in paragraaf 5.3 zijn per onderzoekslocatie de meetresultaten geïnterpreteerd. In Tabel 4 zijn de resultaten van de statische belastingproeven samengevat. In Tabel 5 zijn de resultaten van de dynamische belastingproeven samengevat.

In de tabellen zijn de maximale gemeten wateroverspanningen per meetraai gepresenteerd, de conservatieve schatting van de belastingspreiding in dwarsrichting (2D) en het bijbehorende responspercentage. In de laatste drie kolommen is responspercentage gecorrigeerd voor spreiding in de lengterichting gepresenteerd. Bij de groene kaden en halfverharding is de invloed van belastingspreiding in de lengterichting naar verwachting verwaarloosbaar, bij de verharde kaden niet (zie paragraaf 4.3).

5.4.2 RESULTATEN

Er worden grote verschillen waargenomen. Bij de statische belastingproeven worden hogere responspercentages berekend dan bij de kortdurende dynamische proeven. De proeven laten echter wel een vergelijkbaar beeld zien. Het onderzoek bevestigt dat het type verharding of ontbreken daarvan veel invloed heeft:

- Op de groene kaden zijn hoge responspercentages berekend tot maximaal 86%.
- Op de kade met halfverharding zijn responspercentages berekend tot maximaal 52%.
- Op de verharde kaden zijn responspercentages berekend tot maximaal 32%.

Locatie [-]	Boven belasting [kN/m ²]	U;max wateroverspanning			Schatting spreiding 2D [1:n]	WOSP (max 2D*1)			Correctie 3D*2 [-]	WOSP (max 3D *2)		
		Raai 1 [kN/m ²]	Raai 2 [kN/m ²]	Raai 3 [kN/m ²]		Raai 1 [%]	Raai 2 [%]	Raai 3 [%]		Raai 1 [%]	Raai 2 [%]	Raai 3 [%]
Oud Alblas	13,0	2,5	3,9	0,5	1:0,50	42%	63%	8%	1,00	42%	63%	8%
Sudwald	13,0	4,8	3,4	0,5	1:0,50	86%	61%	9%	1,00	86%	61%	9%
Den Hoorn	13,0	4,4	1,1	0,0	1:0,35	52%	13%	0%	1,00	52%	13%	0%
Den Hoorn *3	23,1	3,0	1,7	0,0	1:0,50	20%	13%	0%	1,00	20%	13%	0%
Zevenhuizen	13,0	0,6	1,0	0,2	1:0,75	14%	18%	4%	1,50	21%	27%	6%
Monnickendam	13,0	1,1	1,5	0,3	1:0,65	18%	24%	4%	1,35	24%	32%	5%

*1. Gemeten maximale waterspanningen per raai als % van de bovenbelasting gecorrigeerd o.b.v. de waargenomen spreidingshoek in de dwarsrichting. Conform rekenwijze D-geostability.

*2. Gemeten maximale waterspanningen per raai als % van de bovenbelasting gecorrigeerd o.b.v. de waargenomen spreidingshoek in de dwarsrichting en de lengterichting als gevolg van stijve verharding o.b.v. Plaxis 3D berekening (zie paragraaf 4.3)

*3 Op de locatie Den Doorn is de statische belastingproef uitgevoerd met zowel een plaatbelasting als een vrachtwagen

Tabel 4: Samenvatting resultaten proeven statische belasting

Locatie [-]	Boven belasting [kN/m ²]	U;max wateroverspanning			Schatting spreiding 2d [1:n]	WOSP (max 2D*1)			Correctie 3D*2 [-]	WOSP (max 3D *2)		
		Raai 1 [kN/m ²]	Raai 2 [kN/m ²]	Raai 3 [kN/m ²]		Raai 1 [%]	Raai 2 [%]	Raai 3 [%]		Raai 1 [%]	Raai 2 [%]	Raai 3 [%]
Oud Alblas	29,5	6,0	6,0	5,8	1:0,75	61%	61%	60%	1,00	61%	61%	60%
Sudwald	13,1 *4	2,7	1,3	0,0	1:0,50	48%	23%	0%	1,00	48%	23%	0%
Den Hoorn	29,5	5,9	2,5	0,0	1:0,35	31%	13%	0%	1,00	31%	13%	0%
Zevenhuizen	29,5	0,7	1,5	0,1	1:0,75	7%	12%	1%	1,50	11%	18%	2%
Monnickendam	22,9	1,0	0,0	0,0	1:0,50	8%	0%	0%	1,35	11%	0%	0%

*4. Op de locatie Sudwald is de dynamische proef uitgevoerd met een lege vrachtwagen. Na het vastlopen van de lege vrachtwagen is ook nog een dynamische proef uitgevoerd over een betonpad op korte afstand van de meetopstelling, tijdens deze proef zijn geen wateroverspanningen gemeten.

Tabel 5: Samenvatting resultaten proeven dynamische belasting

5.5 SAMENVATTING GEINTERPRETEERDE MEETRESULTATEN PROEVEN 2010-2013

5.5.1 ALGEMEEN

In de periode 2010 tot 2013 zijn door drie waterschappen op totaal zes locaties praktijkproeven uitgevoerd. In het onderzoek 2009-16 zijn de resultaten van drie locaties beschreven. Zoals benoemt in de inleiding was het op basis van deze onderzoeksresultaten niet mogelijk om met voldoende zekerheid een uitspraak te doen over de optredende wateroverspanningen. Dit is met name het gevolg van onzekerheden rondom de mate van belastingspreiding. In "ARCADIS, 25 februari 2013, 076938280:A" is een analyse van deze proeven uitgevoerd.

Op basis van nieuwe inzichten in de belastingspreiding op basis van het onderzoek in 2014 is deze analyse opnieuw uitgevoerd. Het belangrijkste nieuwe inzicht betreft de beperkte waargenomen belastingspreiding. In de oude analyse werd uitgegaan van veel grotere belastingspreidingen dan nu waargenomen. De mate van belastingspreiding is opnieuw geschat.

In de laatste kolom zijn de conservatief geschatte responspercentages gepresenteerd gecorrigeerd voor een conservatief ingeschatte spreiding in de dwarsrichting en lengterichting.

Voor de spreiding in dwarsrichting is rekening gehouden met de breedte van het wegcunet waarover de belasting zich kan spreiden en een spreidingshoek in de ondergrond onder het wegcunet. NB. Deze spreidingshoeken in de ondergrond lijken lager dan aangehouden bij de proeven van 2014. Hier is echter onderscheid gemaakt tussen spreiding door het wegcunet en spreiding in de ondergrond in plaats van een overall spreidingshoek.

Locatie	Boven belasting	Breedte	U;max Raai 1	Spreiding 2D weg	Spreiding 2D	WOSP;max 2D *1	Correctie 3D*2	WOSP;max 3D *2
[-]	[kN/m ²]	[m]	[kN/m ²]	[m]	[1:n]	[%]	[-]	[%]
Westzanerpolder (HHNK)	26,2	1,8	3,0	1,9	1:0,35	29%	1,20	35%
Starnmeerpolder (HHNK)	26,3	1,0	4,4	1,3	1:0,25	40%	1,35	54%
Beetskoog (HHNK)	26,3	1,0	2,0	2,0	1:0,35	30%	1,35	40%
Wassenaasche polder (Rijnland)	14,1	1,6	4,6	1,6	1:0,35	85%	1,00	85%
Reeuwijk (Rijnland)	9,4	1,6	1,6	2,5	1:0,35	30%	1,35	41%
Groot Ammers (RivierenIInd)	23,5	2,5	3,8	3,5	1:0,35	32%	1,35	43%
Groot Ammers (RivierenIInd)	23,5	2,5	2,8	3,5	1:0,35	23%	1,35	32%
Witmarsum (Fryslan)	23,5	2,5	2,5	5,0	1:0,35	25%	1,35	34%
Gemeenschapspolder (Waternet)	10,0	1,0	0,8	2,0	1:0,35	26%	1,50	39%
Gemeenschapspolder (Waternet)	19,0	2,5	1,5	5,0	1:0,35	26%	1,50	39%

*1. Gemeten maximale waterspanningen per raai als % van de bovenbelasting gecorrigeerd o.b.v. geschatte spreiding over breedte wegcunet en conservatief geschatte spreidinghoek in de dwarsrichting.

*2. Gemeten maximale waterspanningen per raai als % van de bovenbelasting gecorrigeerd o.b.v. de spreidingshoek in de dwarsrichting en de lengterichting als gevolg van stijve verharding o.b.v. Plaxis 3D berekening (zie paragraaf 4.3)

Tabel 6: Samenvatting resultaten proeven statische belasting 2010-2013

5.5.2 RESULTATEN

De proeven in de periode 2010 tot 2013 betroffen vrijwel allemaal kades met een wegverharding. Bij deze proeven zijn hogere responspercentages berekend dan bij de nieuwe proeven in 2014. Gemiddeld 46% en maximaal 54%.

De responspercentages zijn echter sterk afhankelijk van de aangenomen belastingspreiding. Door het ontbreken van metingen naast de belasting om de belastingspreiding te verifiëren blijven de gepresenteerde responspercentages zeer ruwe schattingen en naar verwachting bovengrenswaarden. Een aantal waterspanningsmeters was zeer diep geplaatst, het overschatten van de belastingspreiding werkt dan zeer sterk door. Dit geldt ook voor de waarde van 54%.

Bij de onderzochte groene kade is een responspercentage van 85% berekend.

5.6 CONCLUSIES ONGEDRAINEERDE RESPONS OP VERKEERSBELASTINGEN

5.6.1 ALGEMEEN

In hoeverre reageert de ondergrond ongedraineerd op basis van de (gespreide) belasting. Ofwel mag het consolidatiepercentage in D-geostability op een andere waarde dan 0% worden aangenomen.

5.6.2 GROENE VERSUS VERHARDE KADEN

Er wordt allereerst onderscheid gemaakt tussen verharde kaden en onverharde groene kaden. Bij groene kaden worden in alle gevallen hoge responspercentages berekend. Groene kaden lijken grotendeels ongedraineerd te reageren op een (verkeers)belasting. Bij de verharde kades zijn de wateroverspanningen lager dan te verklaren op basis van alleen de waargenomen en berekende belastingspreiding. Deze kaden lijken voor een groot deel gedraineerd te reageren op een (verkeers)belasting. De waarden bij de halfverharding liggen er tussenin.

Een goede verklaring voor deze verschillen is de mate van overconsolidatie van de ondergrond. De aangebrachte verkeersbelastingen resulteren bij de verharde kaden hoogstwaarschijnlijk niet in een overschrijding van de grensspanning. Deze kaden zijn immers al vele tientallen jaren, vele malen per dag belast (en ontlast) door verkeersbelastingen. De grond vertoont dan overgeconsolideerd gedrag. In overgeconsolideerde grond worden minder vervormingen en daarmee wateroverspanningen gegenereerd dan in normaal geconsolideerde grond¹. Dit effect wordt ook waargenomen bij waterspanningsmetingen bij dijkverbeteringen. Bij het aanbrengen van de eerste ophoogslag wordt vaak een geringe reactie gemeten. De ondergrond bij vergelijkbare groene kades zal veelal minder sterk overgeconsolideerd zijn en daardoor sterker reageren op een belasting.

5.6.3 VOORSTEL REKENWAARDE RESPONS GROENE KADEN

Groene kaden lijken grotendeels ongedraineerd te reageren op een (verkeers)belasting. Er zijn responspercentages berekend tot maximaal 86%, ofwel een degree of consolidation in D-geostability van 14%. Gezien de onzekerheden rondom belastingspreiding wordt aanbevolen om het consolidatiepercentage in D-geostability niet aan te passen voor groene kaden.

5.6.4 VOORSTEL REKENWAARDE RESPONS VERHARDE KADEN

Bij de verharde kade zijn in het onderzoek uit 2014 responspercentages berekend tot maximaal 32% op basis van veilig gekozen spreidingshoeken. Ofwel een degree of consolidation in D-geostability van 68%. Bij de oude onderzoeken uit 2010-2013 zijn responspercentages berekend tussen de 33% en 54%. Omdat de mate van spreiding bij deze onderzoeken totaal onbekend is betreft dit een zeer grove schatting.

Het is echter duidelijk dat deze kaden niet volledig ongedraineerd reageren op (verkeers)belasting. Op basis van deze onderzoeksresultaten wordt voorgesteld om bij verharde kaden het consolidatiepercentage in D-geostability aan te passen. Een percentage van 30% in plaats van 0% zoals genoemd in het

¹ Uit een analyse met Plaxis 2D volgen voor de locatie Zevenhuizen in een volledig normaal geconsolideerde ondergrond wateroverspanningen tussen circa 4 en 8 kPa direct onder het wegcunet. In een overgeconsolideerde ondergrond tussen circa 1,75 en 3 kPa. Ofwel circa een factor 2,5 lager.

Addendum lijkt zeker te verantwoorden. Op basis van deze onderzoeksresultaten lijkt een percentage van 40% of 50% ook te verantwoorden.

5.6.5 VOORSTEL REKENWAARDE RESPONS KADEN MET HALFVERHARDING

Er is slechts één locatie onderzocht met een halfverharding. Deze kade ligt qua responspercentage tussen de groene kade en verharde kade in met een waarde van maximaal 52%. Op basis van deze onderzoeksresultaten wordt voorgesteld om bij verharde kaden het consolidatiepercentage in D-geostability aan te passen. Een percentage van 30% in plaats van 0% zoals genoemd in het Addendum lijkt te verantwoorden. Een hoger percentage wordt gezien het beperkte aantal onderzoeklocaties met een halfverharding niet aanbevolen.

6

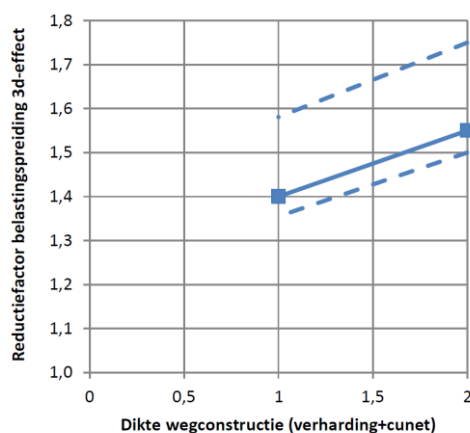
Rekenwaarde bovenbelasting

De keuze voor de rekenwaarde van de maatgevende bovenbelasting op een dijk met verharding valt in principe buiten het kader van deze opdracht, maar is wel kort verkend.

6.1 ENKELE VRACHTWAGEN

Voor regionale keringen wordt aanbevolen om als maatgevende belastingsituatie uit te gaan van één stilstaande zware vrachtwagen in plaats van een “oneindig” lange rij met zandwagens (huidige aanpak). Een “oneindig” lange rij met zandwagens wordt niet als een reële belasting gezien voor regionale keringen.

Bij een enkele vrachtwagen speelt belastingspreiding in de lengterichting een rol. De rekenwaarde van de bovenbelasting kan wellicht gecorrigeerd worden afhankelijk van de dikte van het wegcunet. Uit oriënterende Plaxis-3D berekeningen voor de praktijkproef bij Zevenhuizen volgt een best guess reductiefactor van 1,55 bij een wegcunet van 2,0 meter dik en 1,4 bij een wegcunet van 1,0 meter dik.



6.2 BOVENBELASTING KADE MET WEGVERHARDING

De huidige 13,3 kN/m² bovenbelasting is aan de lage kant en onvoldoende onderbouwd. Zie bijlage 1 addendum, Inventarisatie verkeersbelastingen. In figuur 1-1 van het addendum is een gedeelte van tabel 2 uit NEN6723 weergegeven. De meest maatgevende standaardvrachtwagen heeft een totale aslast van 430 kN en afstand tussen de buitenste 2 assen van 5,2 m volgt een waarde van 33 kN/m². De opgegeven aslasten zijn echter hoger dan wettelijk toegestaan, wanneer hiervoor gecorrigeerd wordt is de bovenbelasting nog altijd 31 kN/m². Een dergelijke configuratie komt volgens dezelfde tabel voor bij 4 tot 7% van de vrachtwagens. Een dergelijke belasting is dus reëel. Dit is overigens niet de configuratie van een kippervrachtwagen voor zandtransport (zandwagens bij calamiteit).

De lengte van de wielbasis in relatie tot de afmetingen van een waterkering en de afmetingen van een glijvlak dat kan leiden tot falen van een dergelijke waterkering is bovendien relatief klein. Rekening houden met een bovenbelasting van 31 kN/m^2 over een "oneindig" lengte (zoals gebruikelijk in een 2D model zoals D-geostability) resulteert in een veel te conservatieve aanpak. Voorstel is om rekening te houden met een iets langere wielbasis (hoger risico op een grote afschuiving) in combinatie met een maximale totale aslast van 400 kN conform de vigerende aanpak. NB. de maximale totale aslast in Nederland bedraagt 500 kN . Een kippervrachtwagen 10×4 heeft een wielbasis van circa $7,0 \times 2,5$ meter. Een totale asbelasting van 400 kN resulteert dan in een aanzienlijk hogere bovenbelasting van $22,85 \text{ kN/m}^2$ zonder correctie voor belastingspreiding in de lengterichting.

Conclusie en aanbevelingen

Rekening houdend met belastingspreiding in de lengterichting op basis van de oriënterende Plaxis-3D berekeningen varieert de rekenwaarde voor de bovenbelasting tussen de $16,3 \text{ kN/m}^2$ (reductiefactor 1,40 bij wegcunet met dikte 1 meter) en $14,7 \text{ kN/m}^2$ (reductiefactor 1,55 bij wegcunet met dikte 2 meter). De berekende rekenwaarden voor de bovenbelasting zijn na correctie waarschijnlijk orde grote vergelijkbaar met de huidige $13,3 \text{ kN/m}^2$.

Er wordt aanbevolen om de huidige rekenwaarde van de bovenbelasting van $13,3 \text{ kN/m}^2$ te herzien in combinatie met nader onderzoek naar reductiefactoren voor belastingspreiding in de lengterichting afhankelijk van de dikte van het wegcunet.

6.3 BOVENBELASTING "GROENE" KADE

Voorgenoemde waarden gelden alleen voor dijken met een wegverharding. Op een groene kade is een dergelijke hoge belasting niet realistisch. Dit bleek ook tijdens de uitgevoerde praktijkproeven, op de groene kades liep de vrachtwagen in beide gevallen vast.

7

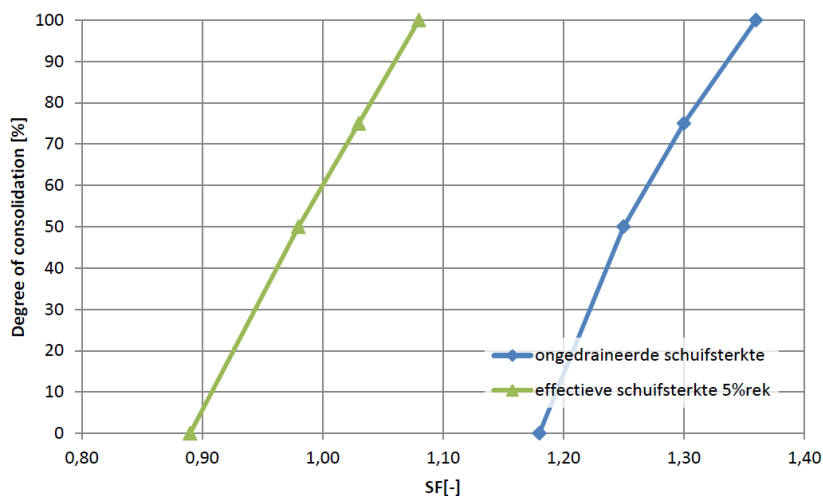
Invloed verkeersbelasting bij ongedraineerd rekenen

De locatie Oud Alblas bij Zevenhuizen is onderzocht in het kader van de Consequentie analyse ongedraineerd rekenen in opdracht van de STOWA. Bij de consequentie analyse is de invloed van verkeersbelastingen op deze locatie niet beschouwd.

Er zijn voor deze locatie gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd om de invloed van de rekenregels voor verkeerbelastingen te bepalen bij gebruik van effectieve schuifsterkteparameters (huidige methodiek) en met ongedraineerde schuifsterkteparameters (nieuwe methodiek). De effectieve schuifsterkteparameters zijn bepaald bij een rekpercentage van 5%. De ongedraineerde schuifsterkteparameters met Su-ratio en POP op basis van eindrek. Er is gerekend met een bovenbelasting van 13 kN/m² over een breedte van 2,5 meter met consolidatiepercentages van 0% (huidige methodiek), 50%(aanbeveling), 75% tot 100%.

De resultaten zijn weergegeven in Figuur 20. De berekende sterke op basis van de nieuwe methodiek ligt aanzienlijk hoger. Het gehanteerde consolidatiepercentage heeft bij beide rekenmethodes een aanzienlijke invloed.

Wanneer met een consolidatiepercentages van 0% gerekend wordt is de berekende stabiliteitsfactor 0,89 bij gebruik van effectieve schuifsterkteparameters en 1,18 met ongedraineerde schuifsterkteparameters. Wanneer met een consolidatiepercentages van 75% gerekend wordt is de berekende stabiliteitsfactor 1,03 bij gebruik van effectieve schuifsterkteparameters en 1,30 met ongedraineerde schuifsterkteparameters.



Figuur 20: Stabiliteitsfactor bij verkeersbelasting afhankelijk van degree of consolidation en sterkteparameters

8

Conclusies en aanbevelingen

8.1 REKENWAARDE BOVENBELASTING

De keuze voor de rekenwaarde van de maatgevende bovenbelasting op een dijk (met verharding) valt in principe buiten het kader van deze opdracht, maar is wel kort verkend.

8.1.1 BOVENBELASTING ENKELE VRACHTWAGEN OF “ONEINDIG” LANGE RIJ

Voor regionale keringen wordt aanbevolen om als maatgevende belastingsituatie uit te gaan van één stilstaande zware vrachtwagen in plaats van een “oneindig” lange rij met zandwagens (huidige aanpak). Een “oneindig” lange rij met zandwagens wordt niet als een reële belasting gezien voor regionale keringen.

8.1.2 REKENWAARDE BOVENBELASTING

De huidige 13,3 kN/m² bovenbelasting over een breedte van 2,5 meter gebaseerd op een lange rij zandwagens van 40 ton is echter aan de lage kant. Een meer reële belasting betreft een vrachtwagen van 40 ton met een wielbasis van circa 7,0x2,5 meter. Dit resulteert in een aanzienlijk hogere bovenbelasting van 22,85 kN/m² over 2,5 meter.

Uitgaande van een enkele vrachtwagen in plaats van een oneindig lange rij vrachtwagens is het echter correct om te corrigeren voor belastingspreiding in de lengterichting van het wegcunet. Uit oriënterende Plaxis-3D berekeningen varieert de rekenwaarde voor de bovenbelasting tussen de 16,3 kN/m² (reductiefactor 1,40 bij wegcunet met dikte 1 meter) en 14,7 kN/m² (reductiefactor 1,55 bij wegcunet met dikte 2 meter).

Er wordt aanbevolen om de huidige rekenwaarde van de bovenbelasting van 13,3 kN/m² te herzien in combinatie met nader onderzoek naar reductiefactoren voor belastingspreiding in de lengterichting afhankelijk van de dikte van het wegcunet.

8.1.3 BOVENBELASTING GROENE KADE

Op groene kaden wordt nu veelal gerekend met een bovenbelasting van 5 kN/m². Sommige waterschappen brengen geen bovenbelasting in rekening op groene kaden. Het aanhouden van een hogere bovenbelasting lijkt niet realistisch. Er zijn bij de proeven in 2014 twee groene kades belast. In beide gevallen liep de vrachtwagen vast op de kade.

8.2 BELASTINGSPREIDING

Om te berekenen in welke mate een waterkering ongedraineerd reageert als gevolg van een zware (verkeers)belasting, moet eerst bekend zijn hoe de belastingen zich spreiden in de ondergrond. Zowel in de dwarsrichting als de lengterichting. Op basis van de analyses van de vijf onderzoeklocaties lijkt er sprake te zijn van een relatief beperkte belastingspreiding in de ondergrond. Een wegcunet heeft wel een grote invloed op de belastingspreiding, zowel in de dwarsrichting als in de lengterichting.

8.2.1 BELASTINGSPREIDING IN DWARSRICHTING

De huidige rekenwaarde voor de bovenbelasting is 13,3 kN/m² over een breedte van 2,5 meter. Belastingspreiding in D-geostability wordt normaliter n in rekening gebracht door een hoek bij "distribution" of loads op te geven. Het programma rekent de invloed van een belastingspreiding echter niet werkelijk door.

Om belastingspreiding in de dwarsrichting als gevolg van een wegcunet op een meer realistische manier in rekening te brengen wordt aanbevolen om in D-geostability de rekenwaarde van de bovenbelasting handmatig te spreiden over de werkelijke breedte van het wegcunet tot een maximum van 4 meter². Ofwel rekenen met een lagere bovenbelasting over een grotere breedte. De aanbevolen hoek voor de "load distribution" blijft ongewijzigd.

8.2.2 BELASTINGSPREIDING IN LENGTERICHTING

Belastingspreiding in de lengterichting speelt (zeker bij een dik wegcunet) ook een belangrijke rol. Uit oriënterende berekeningen met Plaxis-3D volgt een reductiefactor van 1,35 tot 1,40 bij een wegcunet van 1 meter dik en 1,50 tot 1,55 bij een wegcunet van 2 meter dik. Deze invloed is meegenomen bij het analyseren van de proeven om te bepalen in hoeverre de ondergrond ongedraineerd reageert op een bovenbelasting.

Dit effect kan nu echter niet in rekening worden gebracht voor de bepaling van de bovenbelasting. Hier zijn twee belangrijke redenen voor:

- De huidige rekenwaarde voor de bovenbelasting van 13,3 kN/m² is aan de lage kant. Het reduceren van de bovenbelasting als gevolg van spreiding in de lengterichting in combinatie met deze lage bovenbelasting resulteert waarschijnlijk in een te gunstige rekenwaarde.
- De mate van belastingspreiding in de lengterichting is nog onvoldoende onderbouwd. In de oriënterende berekeningen met Plaxis-3D zijn slechts een beperkt aantal configuraties onderzocht, nog afgezien van modelonzekerheden.

8.3 ONGEDRAINEERDE RESPONS OP VERKEERSBELASTINGEN

In hoeverre reageert de ondergrond ongedraineerd op basis van de (gespreide) belasting. Ofwel mag het consolidatiepercentage in D-geostability op een andere waarde dan 0% worden aangenomen.

8.3.1 GROENE VERSUS VERHARDE KADEN

Er wordt allereerst onderscheid gemaakt tussen verharde kaden en onverharde groene kaden. Bij groene kaden worden in alle gevallen hoge responspercentages berekend. Groene kaden lijken grotendeels

² Om te voorkomen dat de bovenbelasting te laag wordt gekozen wordt een bovengrens aanbevolen van circa 4 meter.

ongedraineerd te reageren op een (verkeers)belasting. Bij de verharde kades zijn de wateroverspanningen lager dan te verklaren op basis van alleen de waargenomen en berekende belastingspreiding. Deze kaden lijken voor een groot deel gedraineerd te reageren op een (verkeers)belasting. De waarden bij de halfverharding liggen er tussenin.

Een goede verklaring voor deze verschillen is de mate van overconsolidatie van de ondergrond. De aangebrachte verkeersbelastingen resulteren bij de verharde kaden hoogstwaarschijnlijk niet in een overschrijding van de grensspanning. Deze kaden zijn immers al vele tientallen jaren, vele malen per dag belast (en ontlast) door verkeersbelastingen. De grond vertoont dan overgeconsolideerd gedrag. In overgeconsolideerde grond worden minder vervormingen en daarmee wateroverspanningen gegenereerd dan in normaal geconsolideerde grond³. Dit effect wordt ook waargenomen bij waterspanningsmetingen bij dijkverbeteringen. Bij het aanbrengen van de eerste ophoogslag wordt vaak een geringe reactie gemeten. De ondergrond bij vergelijkbare groene kades zal veelal minder sterk overgeconsolideerd zijn en daardoor sterker reageren op een belasting.

8.3.2 VOORSTEL REKENWAARDE RESPONS GROENE KADEN

Groene kaden lijken grotendeels ongedraineerd te reageren op een (verkeers)belasting. Er zijn responspercentages berekend tot maximaal 86%, ofwel een degree of consolidation in D-geostability van 14%. Gezien de onzekerheden rondom belastingspreiding wordt aanbevolen om het consolidatiepercentage in D-geostability niet aan te passen voor groene kaden.

8.3.3 VOORSTEL REKENWAARDE RESPONS VERHARDE KADEN

Bij de verharde kade zijn in het onderzoek uit 2014 responspercentages berekend tot maximaal 32% op basis van veilig gekozen spreidingshoeken. Ofwel een degree of consolidation in D-geostability van 68%. Bij de oude onderzoeken uit 2010-2013 zijn responspercentages berekend tussen de 33% en 54%. Omdat de mate van spreiding bij deze onderzoeken onbekend is betreft dit een zeer grove schatting.

Het is echter duidelijk dat deze kaden niet volledig ongedraineerd reageren op (verkeers)belasting. Op basis van deze onderzoeksresultaten wordt voorgesteld om bij verharde kaden het consolidatiepercentage in D-geostability aan te passen. Een percentage van 30% in plaats van 0% zoals genoemd in het Addendum lijkt zeker te verantwoorden. Op basis van deze onderzoeksresultaten lijkt een percentage van 40% of 50% ook te verantwoorden.

8.3.4 VOORSTEL REKENWAARDE RESPONS KADEN MET HALFVERHARDING

Er is slechts één locatie onderzocht met een halfverharding. Deze kade ligt qua responspercentage tussen de groene kade en verharde kade in met een waarde van maximaal 52%. Op basis van deze onderzoeksresultaten wordt voorgesteld om bij verharde kaden het consolidatiepercentage in D-geostability aan te passen. Een percentage van 30% in plaats van 0% zoals genoemd in het Addendum lijkt te verantwoorden. Een hoger percentage wordt gezien het beperkte aantal onderzoeklocaties met een halfverharding niet aanbevolen.

³ Uit een analyse met Plaxis 2D volgen voor de locatie Zevenhuizen in een volledig normaal geconsolideerde ondergrond wateroverspanningen tussen circa 4 en 8 kPa direct onder het wegcunet. In een overgeconsolideerde ondergrond tussen circa 1,75 en 3 kPa. Ofwel circa een factor 2,5 lager.

8.4 INVLOED OVERCONSOLIDATIE OP WATEROVERSPANNINGEN

In overgeconsolideerde ondergrond worden bij een vergelijkbare bovenbelasting minder wateroverspanningen gegenereerd dan bij normaal geconsolideerde grond. Dit effect wordt ook in Plaxis berekend. De maximaal optredende wateroverspanningen nemen echter niet sterker af naarmate de grond sterker is overgeconsolideerd. In werkelijkheid zal een sterker overgeconsolideerde ondergrond mogelijk nog minder sterk reageren. Dit is mogelijk een verklaring waarom de berekende wateroverspanningen in Plaxis ook met het meenemen van volledige 3d-belastingspreiding en overgeconsolideerd gedrag nog steeds aanzienlijk hoger ligt dan gemeten.

Er wordt aanbevolen om nader onderzoek uit te voeren naar de invloed van de OCR op de maximaal te genereren wateroverspanningen als gevolg van een verkeersbelasting. Dit sluit goed aan op de nieuwe rekenmethodiek met ongedraineerd rekenen. Bij de nieuwe rekenmethodiek moet de OCR van de ondergrond bekend zijn.

8.5 INVLOED VERKEERSBELASTING BIJ ONGEDRAINEERD REKENEN

De locatie Oud Alblas bij Zevenhuizen is onderzocht in het kader van de Consequentie analyse ongedraineerd rekenen in opdracht van de STOWA. Er zijn voor deze locatie gevoeligheidsberekeningen uitgevoerd om de invloed van de rekenregels voor verkeersbelastingen te bepalen bij gebruik van effectieve schuifsterkteparameters (huidige methodiek) en met ongedraineerde schuifsterkteparameters (nieuwe methodiek). De berekende stabiliteitsfactor op basis van de nieuwe methodiek ligt in dit geval aanzienlijk hoger. De absolute invloed van de verkeersbelasting op de stabiliteitsfactor is vergelijkbaar.

Colofon

AANVULLENDE VERKEERSBELASTING-PROEVEN REGIONALE KERINGEN 2014

OPDRACHTGEVER:

STOWA

STATUS:

Concept

AUTEUR:

ing. L. Kwakman

GECONTROLEERD DOOR:

VRIJGEGEVEN DOOR:

28 oktober 2014

078073547:0.5

ARCADIS NEDERLAND BV

Nieuwe Steen 3

Postbus 173

1620 AD Hoorn

Tel 0229 285 285

Fax 0229 219 996

www.arcadis.nl

Handelsregister 09036504

©ARCADIS. Alle rechten voorbehouden. Behoudens uitzonderingen door de wet gesteld, mag zonder schriftelijke toestemming van de rechthebbenden niets uit dit document worden veelevoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, digitale reproductie of anderszins.

Bijlage 1

Draaiboek uitvoering proeven

Dag 1:

- Waterspanningsmeting op hoge frequentie zetten en aansluiten realtime aflezing
- Peilbuizen opnemen
- Uitvoeren Dynamische proef:
 - 5x lage snelheid (ca. 5 km per uur) heen en weer over de meetraai rijden. Dat wil zeggen, met lage snelheid op een afstand van circa 25 meter uit de meetraai starten, vervolgens met 5 km per uur over de meetraai rijden tot 25 meter voorbij de meetraai. Vervolgens 1 minuut wachten en dan herhalen.
 - 5x kortdurende stilstaande belasting, door de vrachtwagen afwisselend 1 minuut op de raai te plaatsen en 1 minuut op een afstand van ten minste 25 meter voorbij de meetraai. Op de meetraai betekent met de (of een van de achterassen) achteras boven de meetraai.
 - De exacte tijd waarop de vrachtwagen zich op de meetraai bevindt noteren. Let op, klok waterspanningsmeters en klok voor het noteren moeten gelijk lopen.
 - Foto's nemen waarop totale opstelling zichtbaar is (kade + belasting)
 - Foto's nemen waarop de wielen en de locaties van de meetraai zichtbaar zijn
- Uitvoeren statische proef:
 - Plaatsen statische belasting (container van circa 10 x 2 meter) op vlakke ondergrond
 - Statische belasting dient ten minste 24 uur aanwezig te zijn. Bij uitvoering in het weekend (uitgangspunt bij deze proeven) zal de verkeersbelasting circa 60 tot 72 uur aanwezig zijn.
 - De exacte tijd waarop de statische belasting geplaatst wordt noteren
 - Foto's nemen waarop totale opstelling zichtbaar is (kade + belasting)
 - Foto's nemen waarop de container en de locaties van de meetraai naast de container zichtbaar zijn

Dag 2 of 3:

- Peilbuizen opnemen
- Verwijderen statische belasting

Bijlage 2

Proef Oud Alblas (Rivierenland)

Bijlage 3

Proef Sudwald (Wetterskip)

Bijlage 4

Proef Den Hoorn (Delfland)

Bijlage 5

Proef Zevenhuizen (Schieland en Krimpenerwaard)

Bijlage 6

Proef Monnickendam (Hollands Noorderkwartier)

Bijlage 7

Tabel samenvatting verkeersbelastingproeven 2014

Bijlage 8

Tabel samenvatting verkeersbelastingproeven 2010-2013

Bijlage 9

Plaxis 3D berekeningen

Bijlage 9.1

Basissom 2D vs 3D

Bijlage 9.2

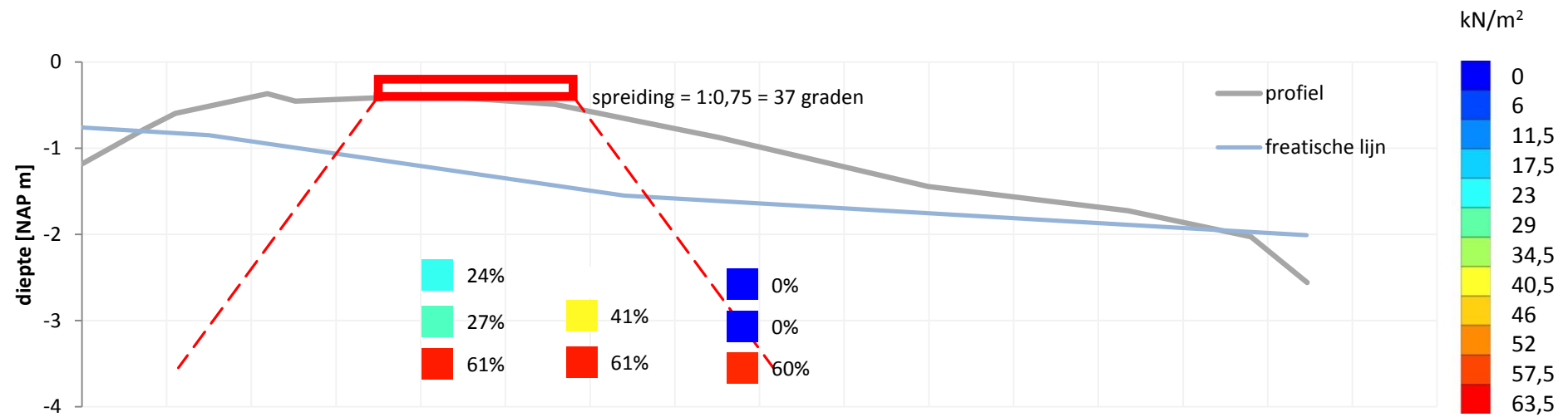
Gevoeligheidsberekeningen 2D vs 3D

Bijlage 9.3

Gevoeligheidsberekeningen dunnere fundering 2D vs 3D

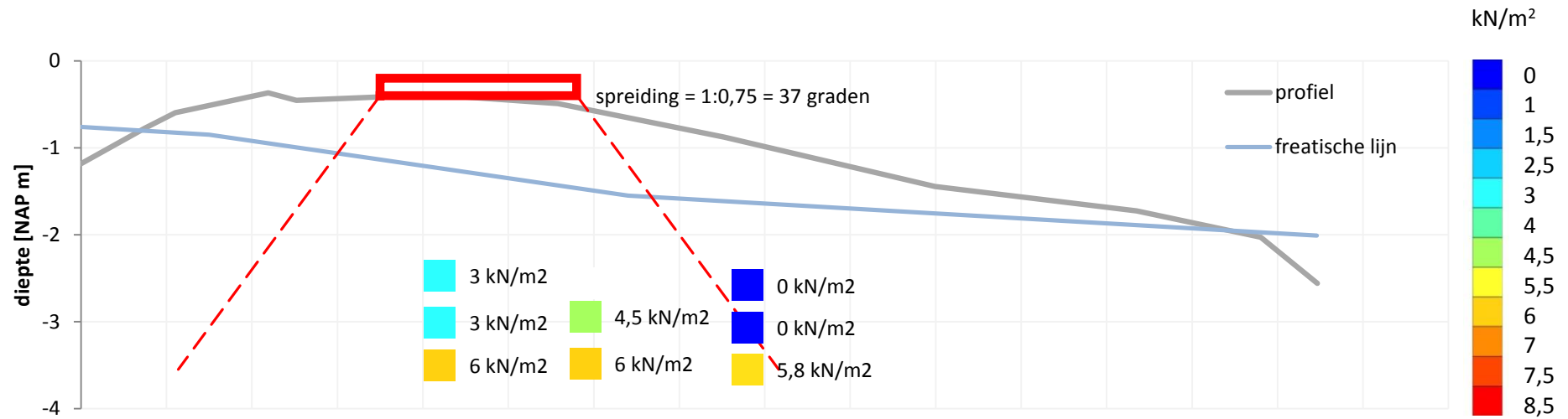
Onderzoekslocatie: Oud Alblas

Verkeersbelastingproef dynamisch - Gemeten wateroverspanningen als % van de bovenbelasting gecorrigeerd o.b.v. spreidingshoek



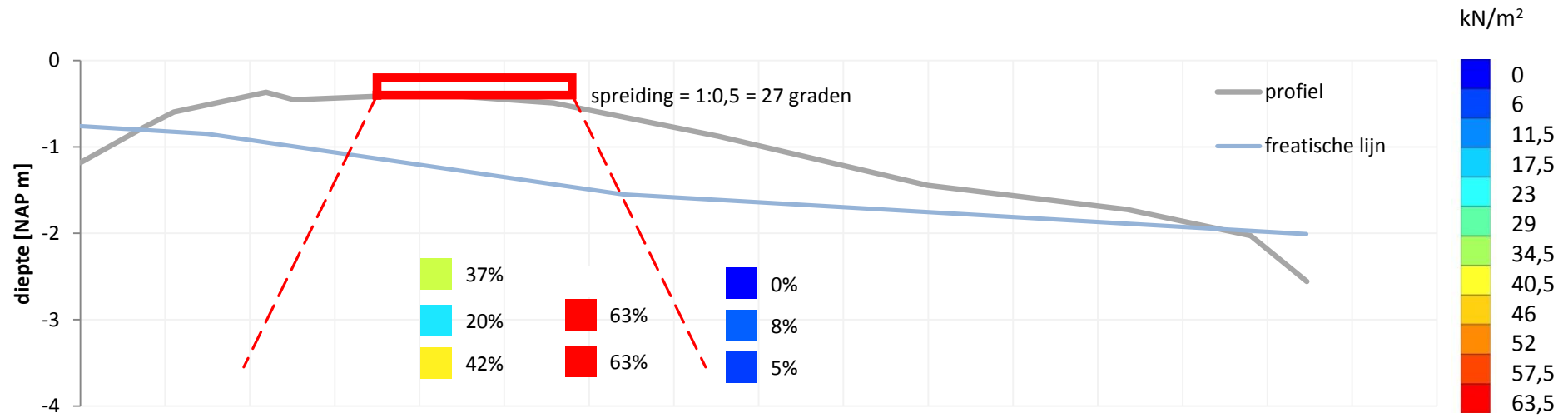
Onderzoekslocatie: Oud Alblas

Verkeersbelastingproef dynamisch - Gemeten wateroverspanningen



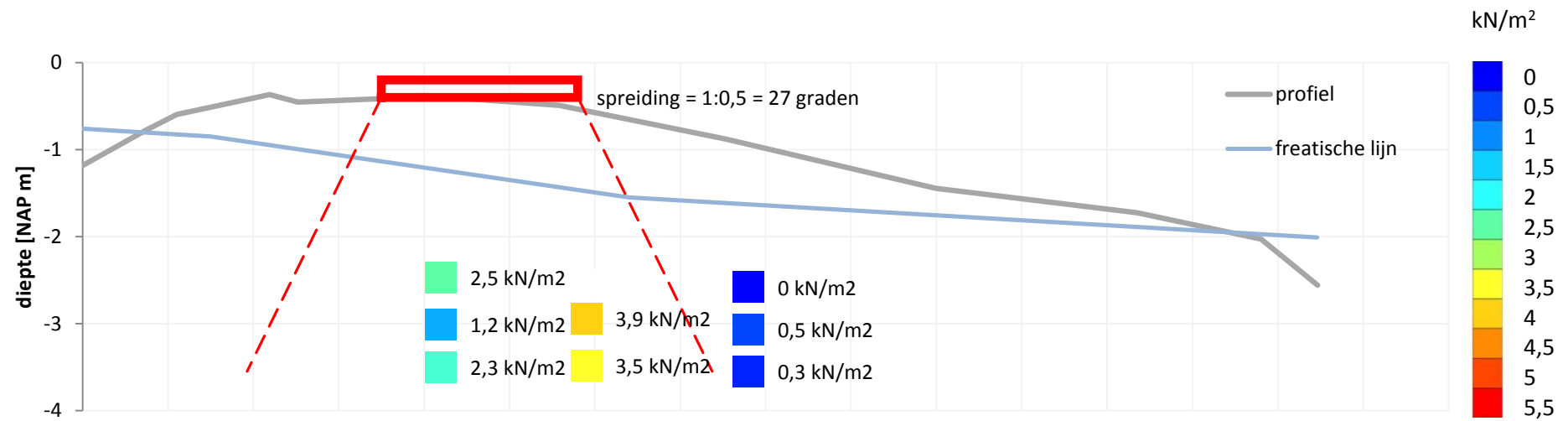
Onderzoekslocatie: Oud Alblas

Verkeersbelastingproef statisch - Gemeten wateroverspanningen als % van de bovenbelasting gecorrigeerd o.b.v. spreidingshoek

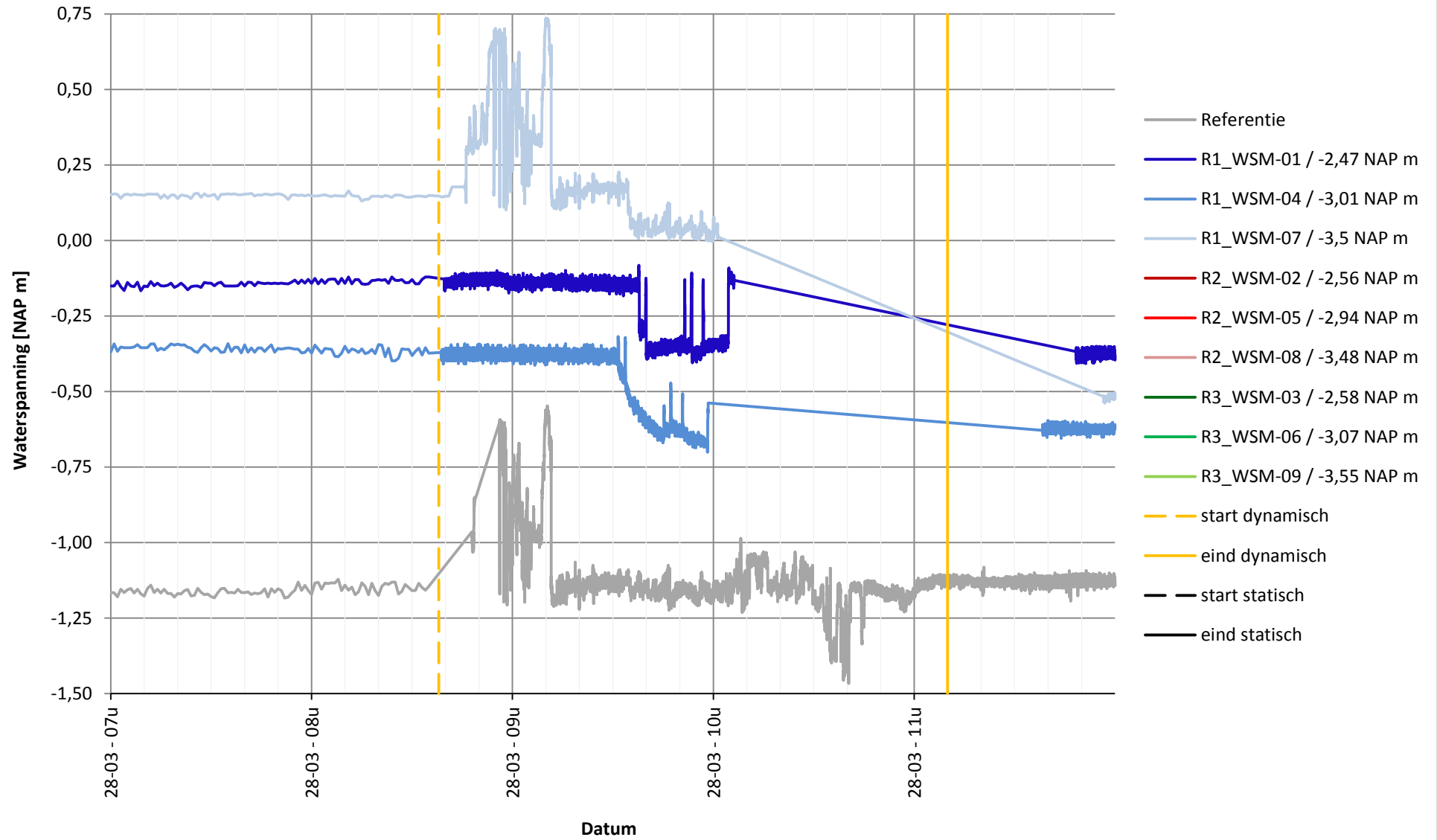


Onderzoekslocatie: Oud Alblas

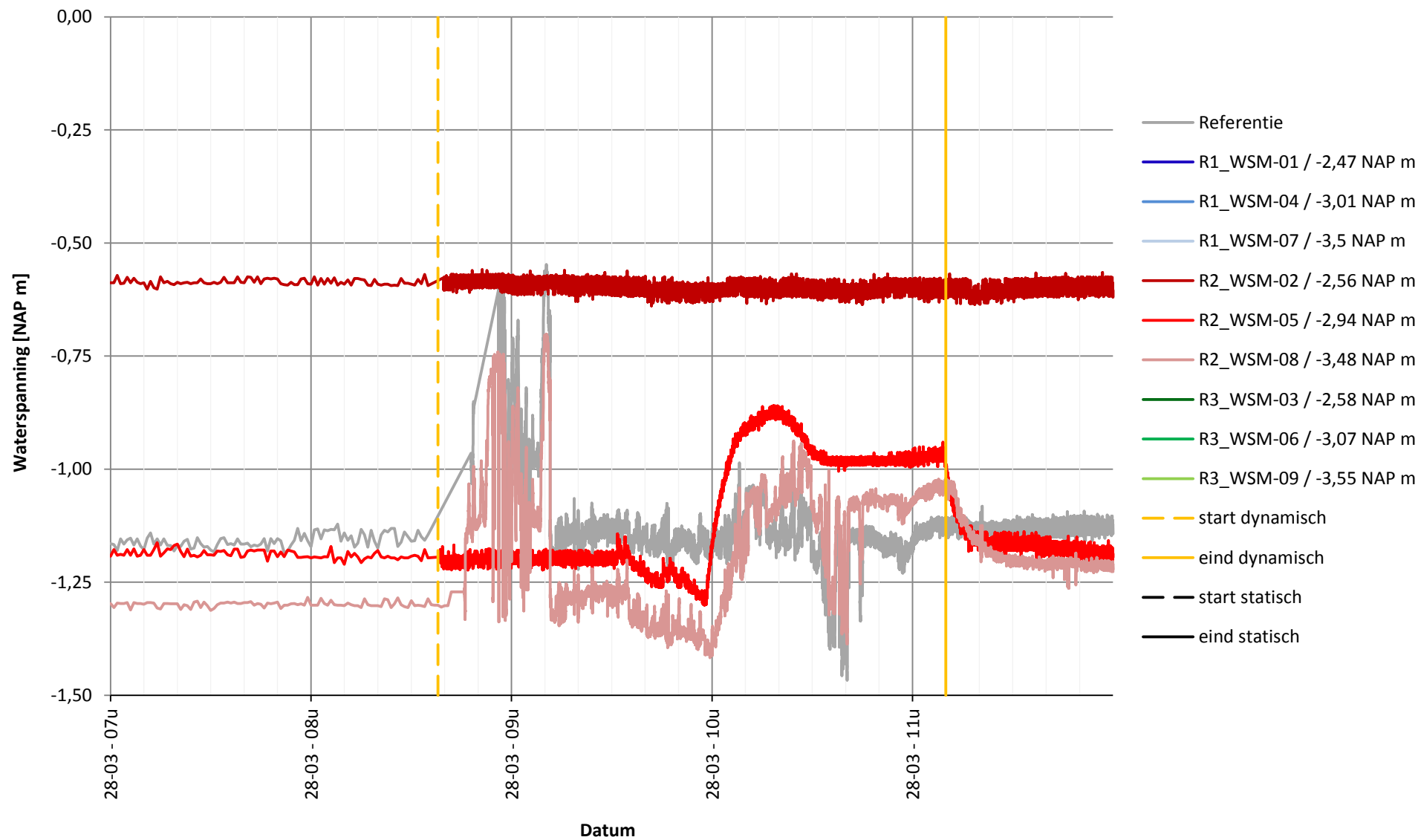
Verkeersbelastingproef statisch - Gemeten wateroverspanningen



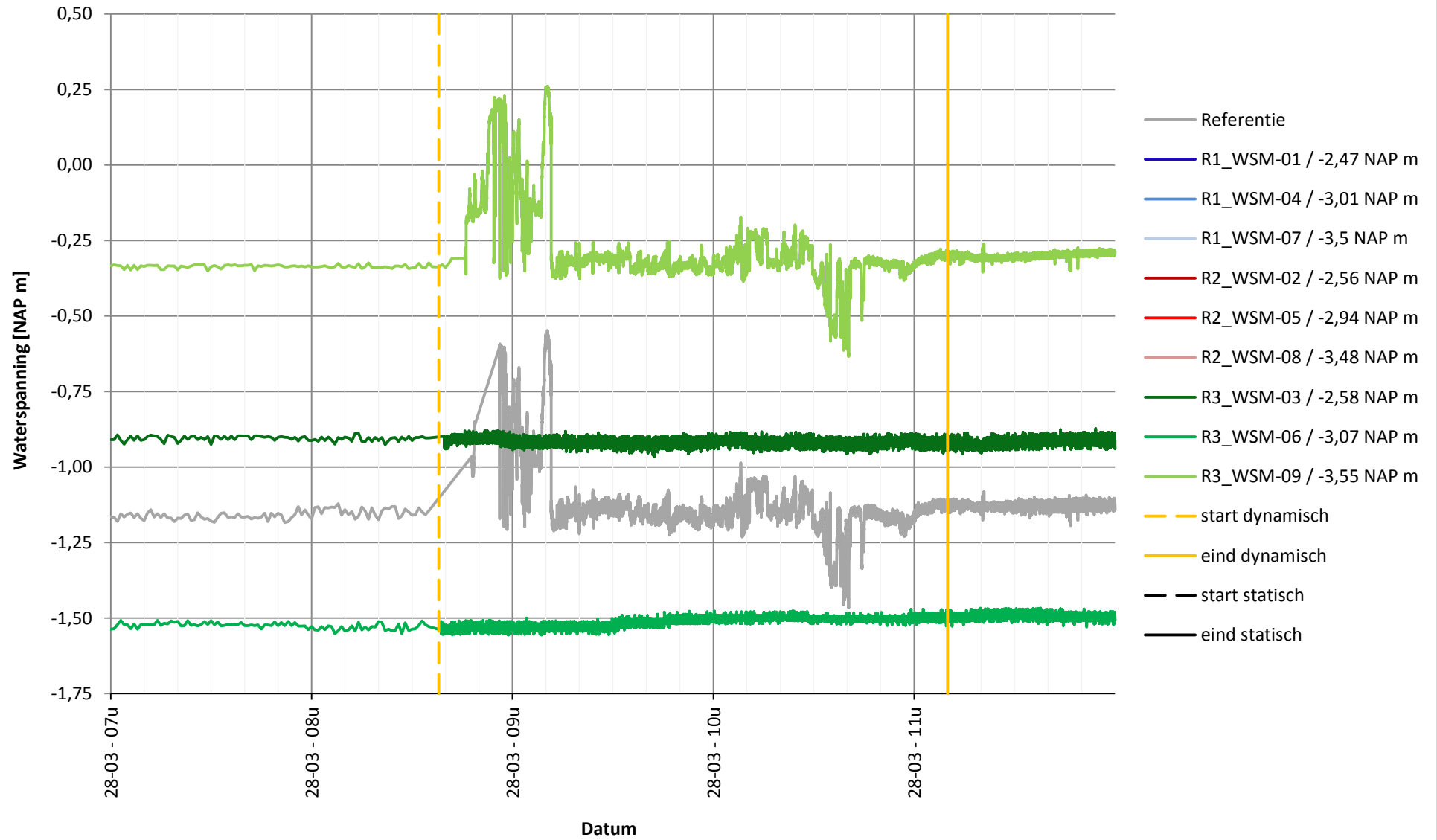
Onderzoekslocatie: Oud Alblas



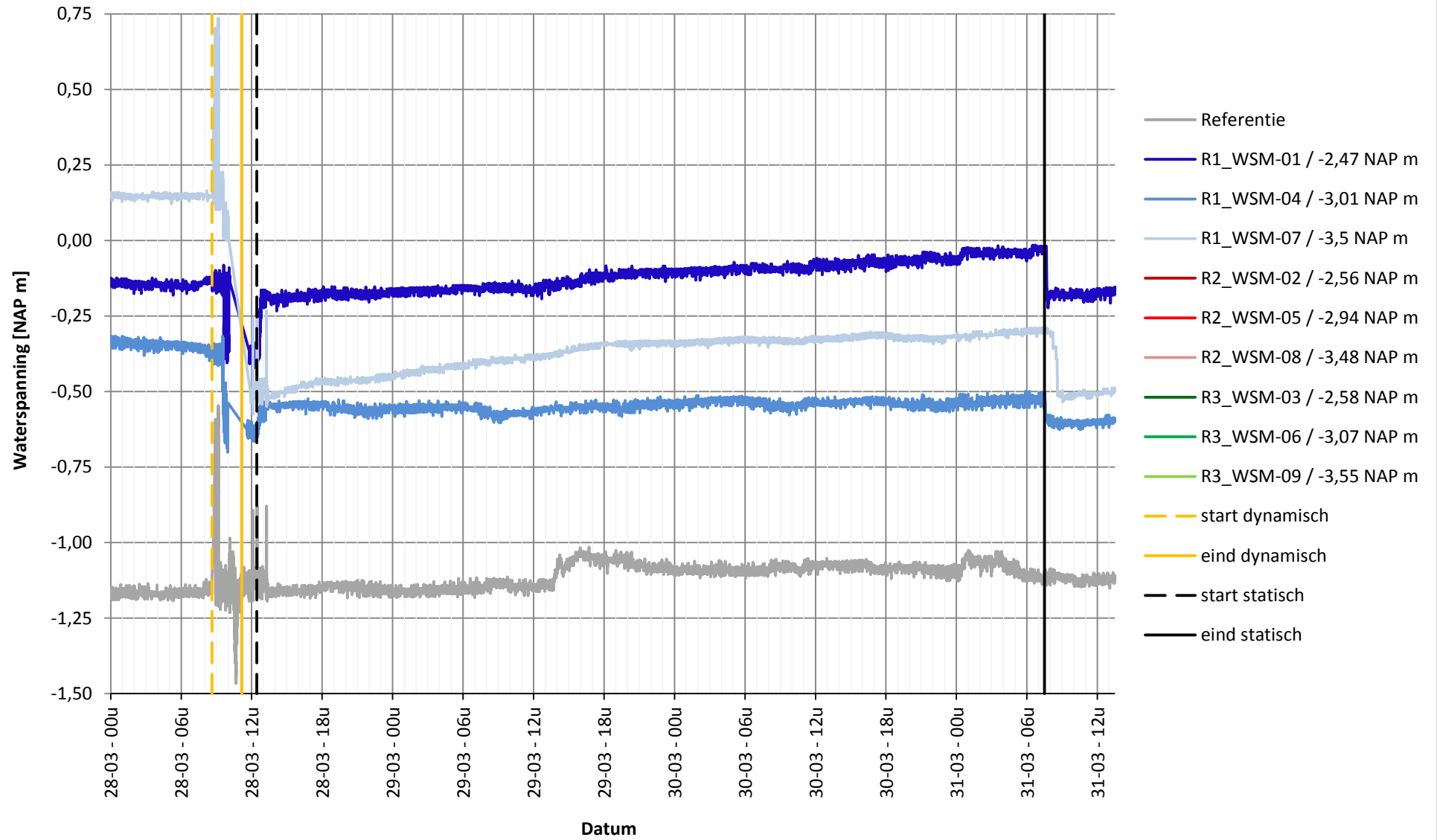
Onderzoekslocatie: Oud Alblas



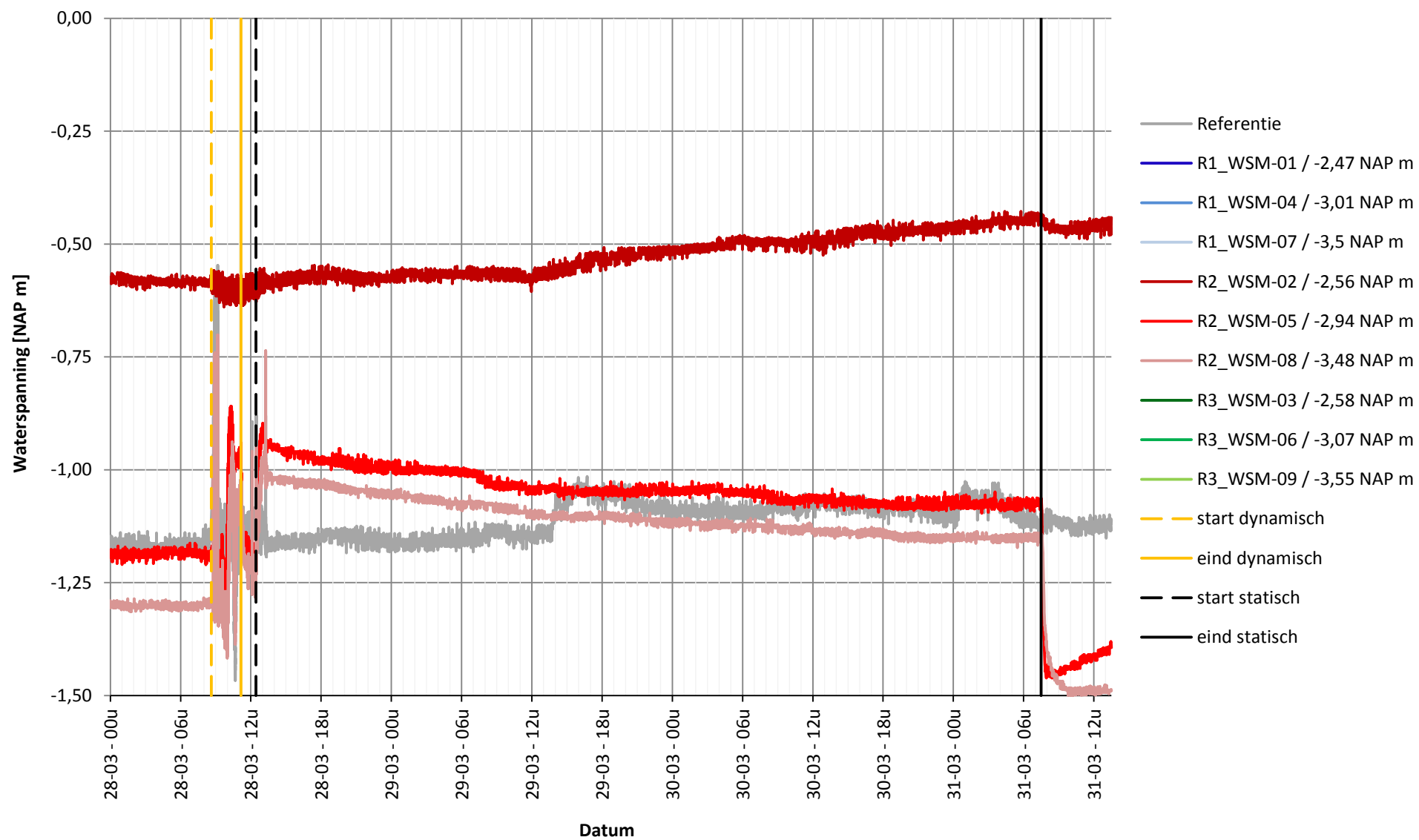
Onderzoekslocatie: Oud Alblas



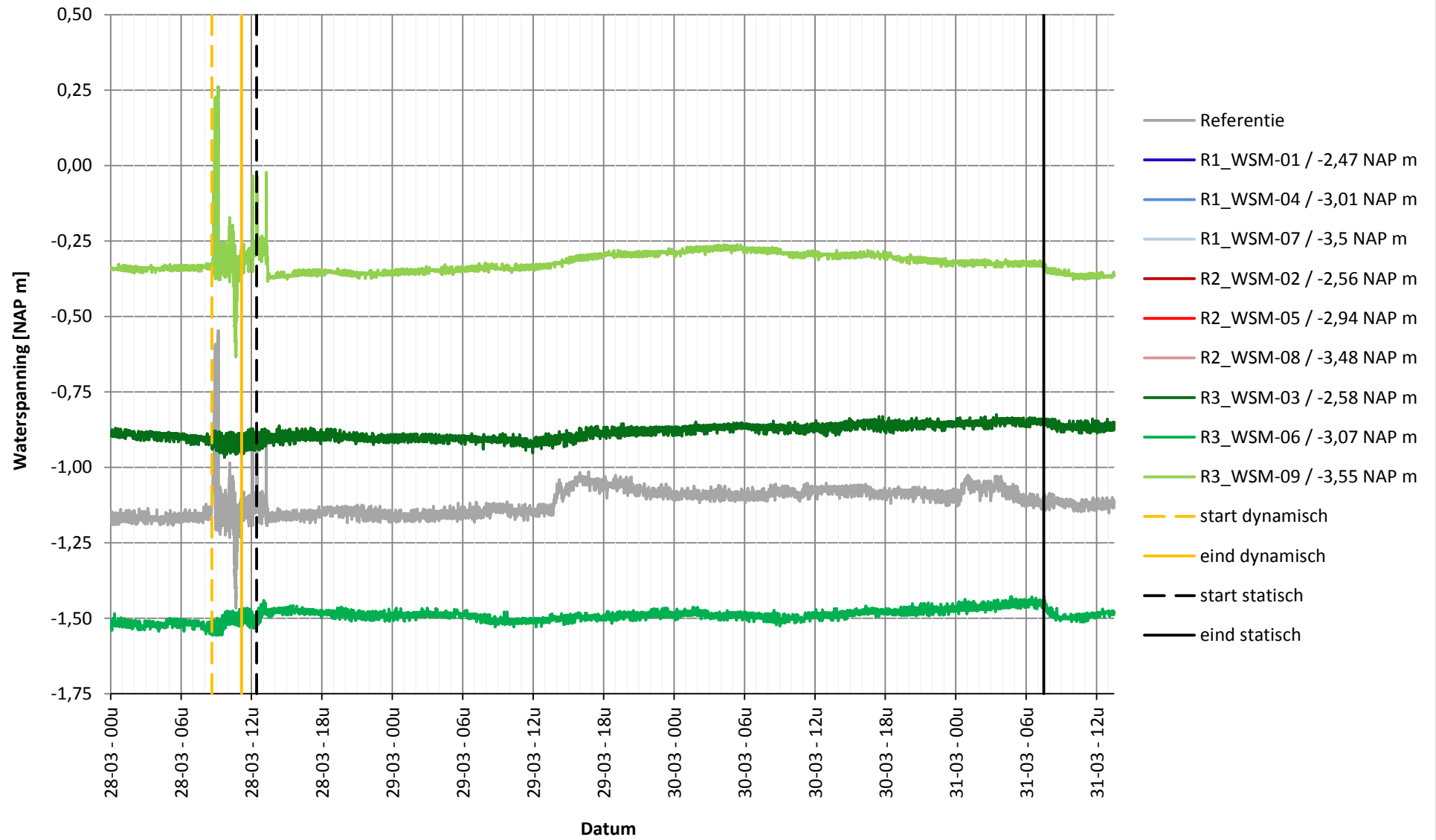
Onderzoekslocatie: Oud Alblas



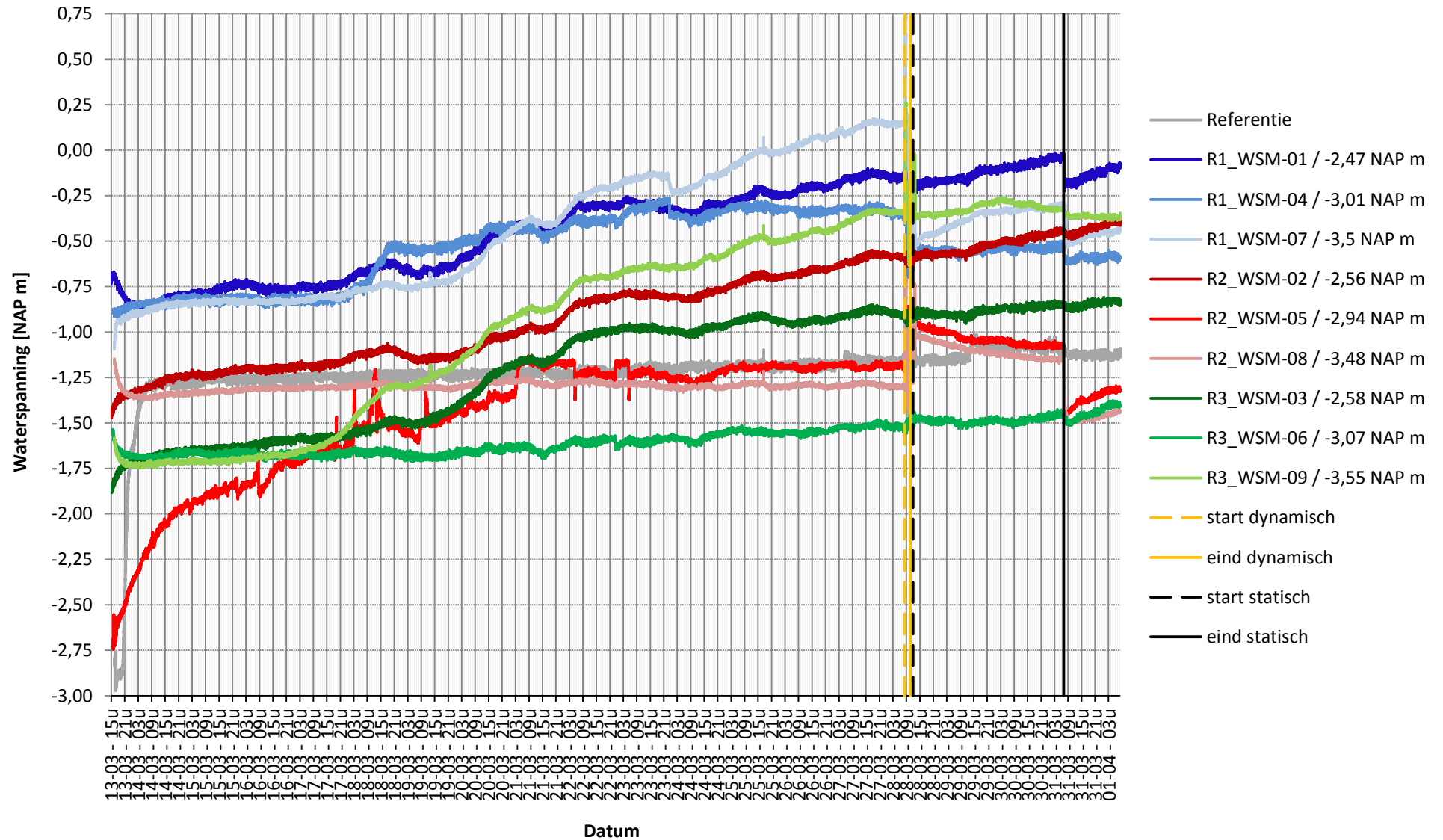
Onderzoekslocatie: Oud Alblas



Onderzoekslocatie: Oud Alblas

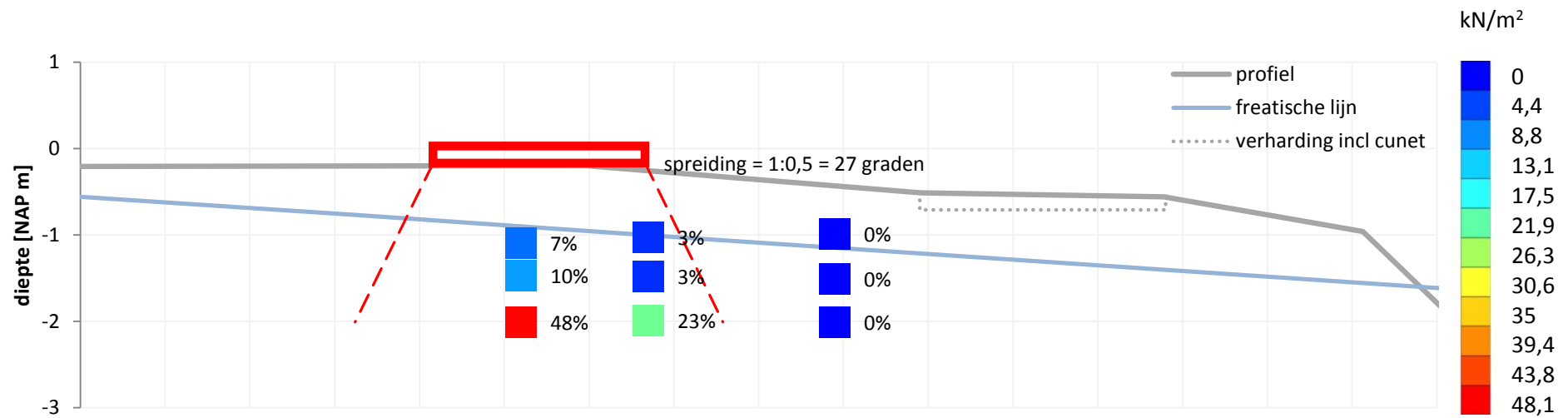


Onderzoekslocatie: Oud Alblas



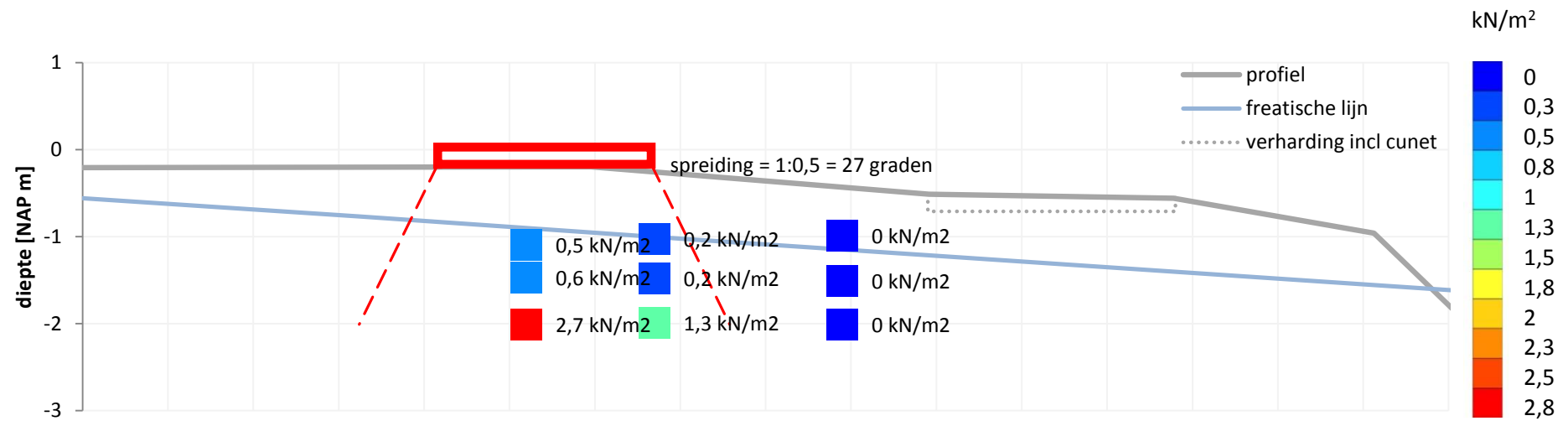
Onderzoekslocatie: Sudwald (Wetterskip)

Verkeersbelastingproef dynamisch - Gemeten wateroverspanningen als % van de bovenbelasting gecorrigeerd o.b.v. spreidingshoek



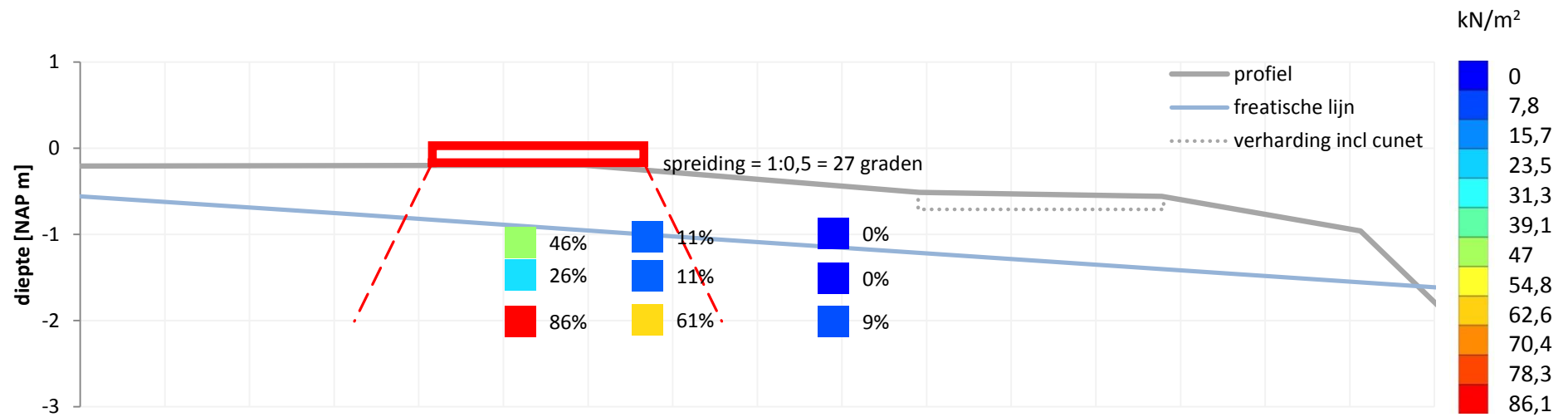
Onderzoekslocatie: Sudwald (Wetterskip)

Verkeersbelastingproef dynamisch - Gemeten wateroverspanningen



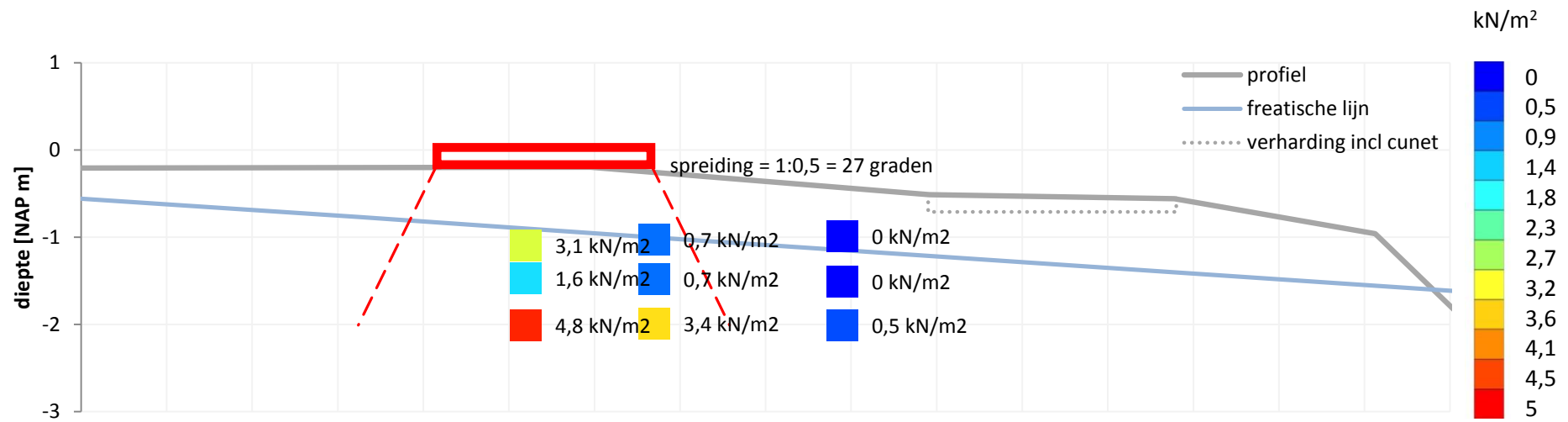
Onderzoekslocatie: Sudwald (Wetterskip)

Verkeersbelastingproef statisch - Gemeten wateroverspanningen als % van de bovenbelasting gecorrigeerd o.b.v. spreidingshoek

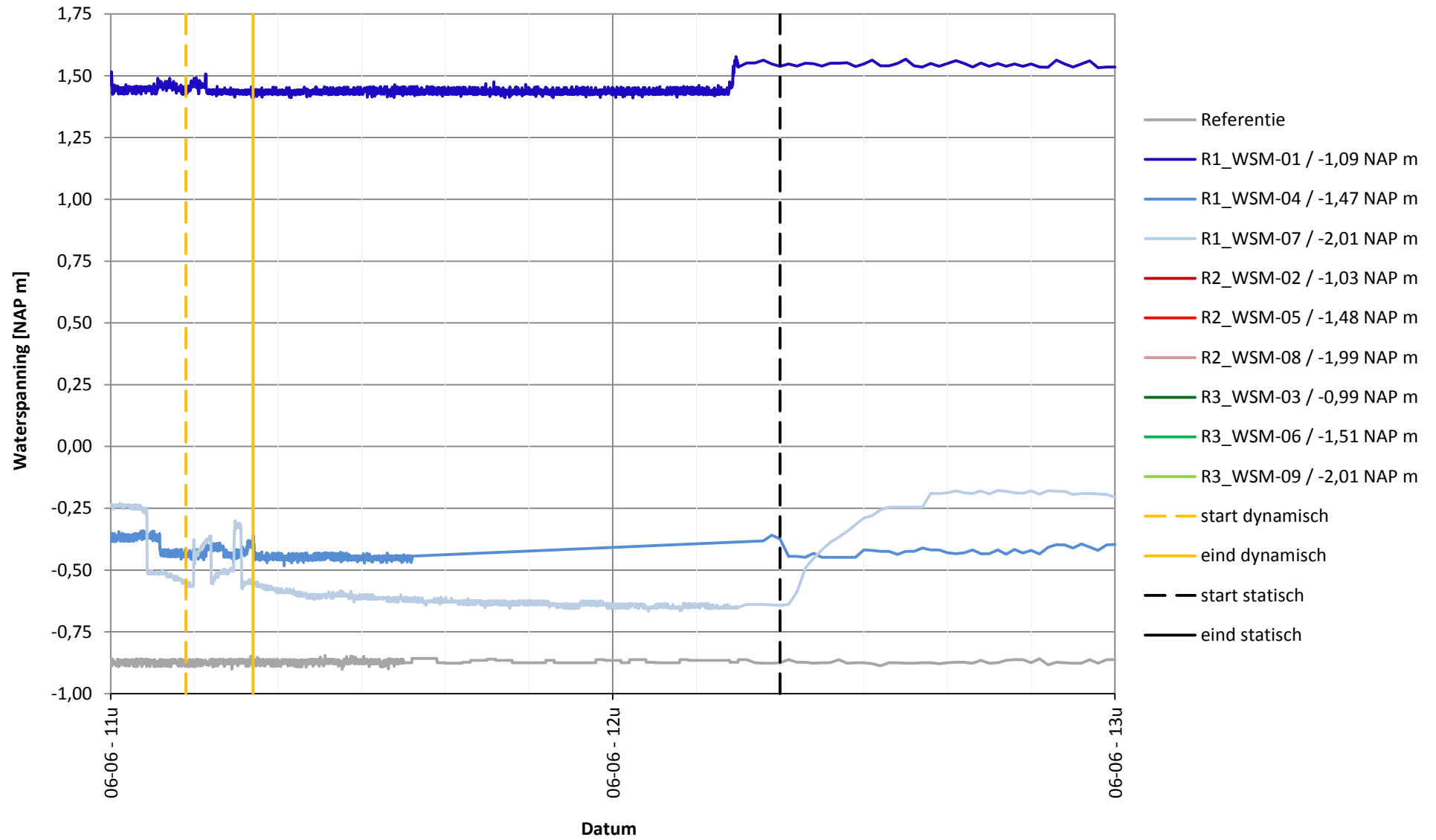


Onderzoekslocatie: Sudwald (Wetterskip)

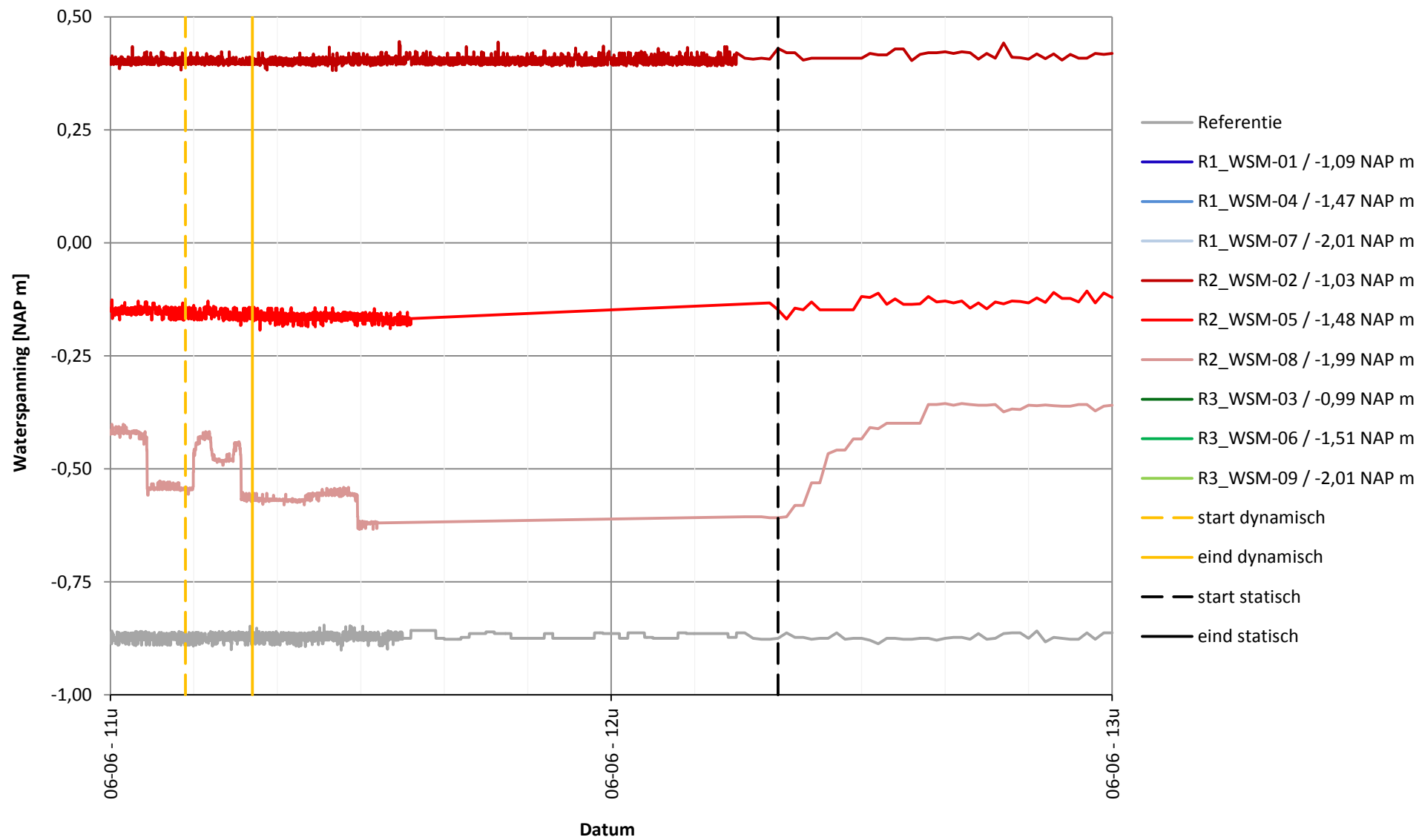
Verkeersbelastingproef statisch - Gemeten wateroverspanningen



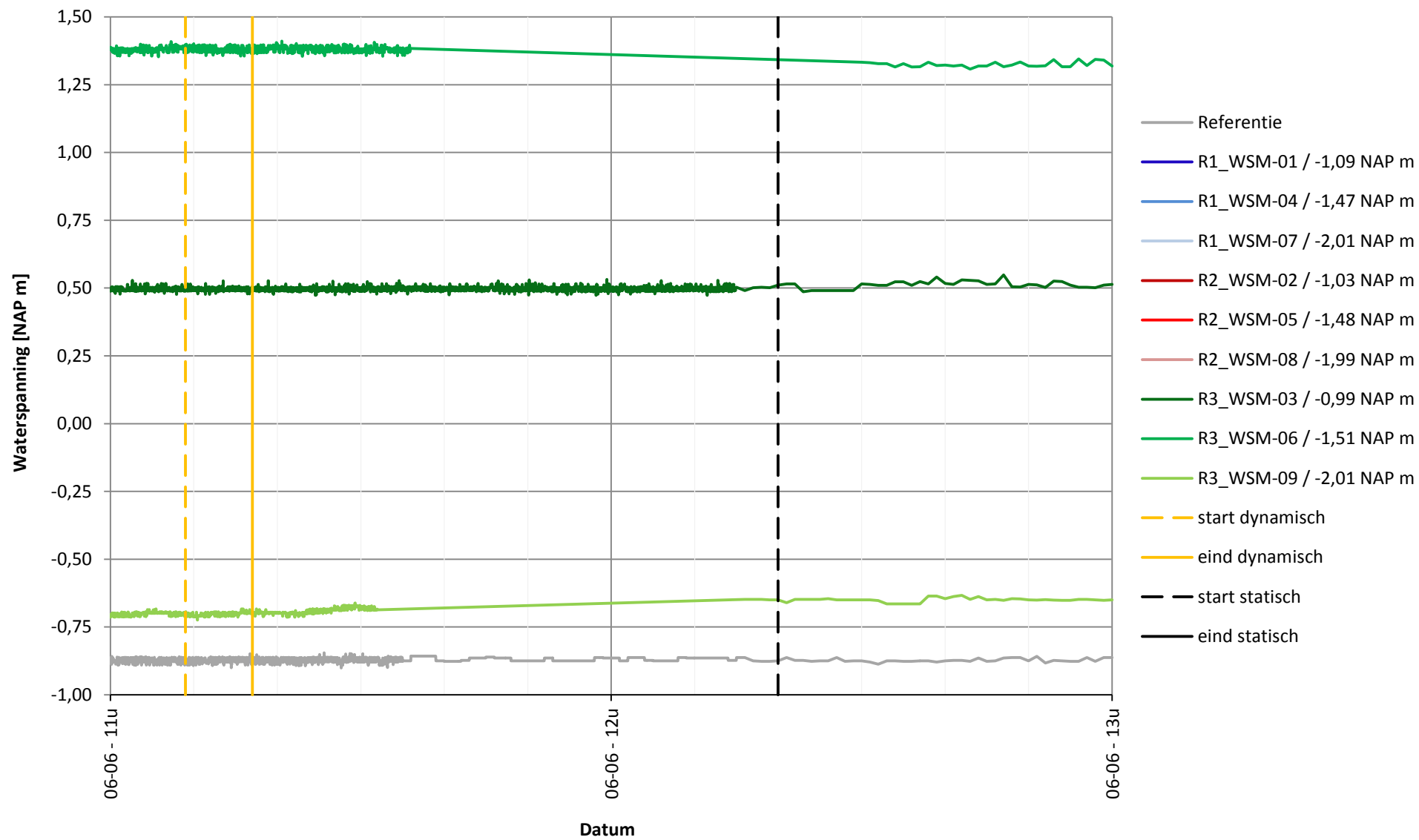
Onderzoekslocatie: Sudwald (Wetterskip)



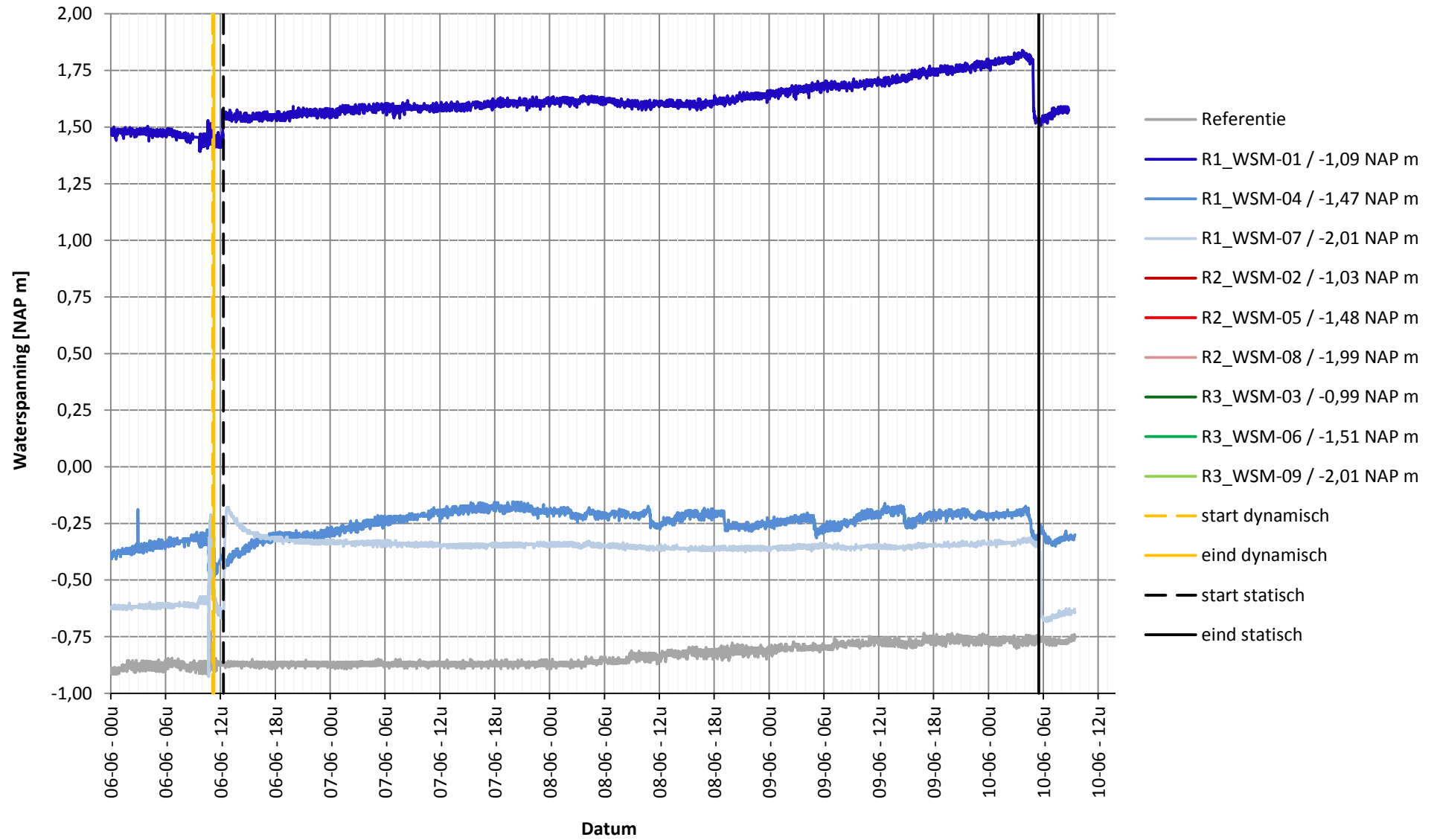
Onderzoekslocatie: Sudwald (Wetterskip)



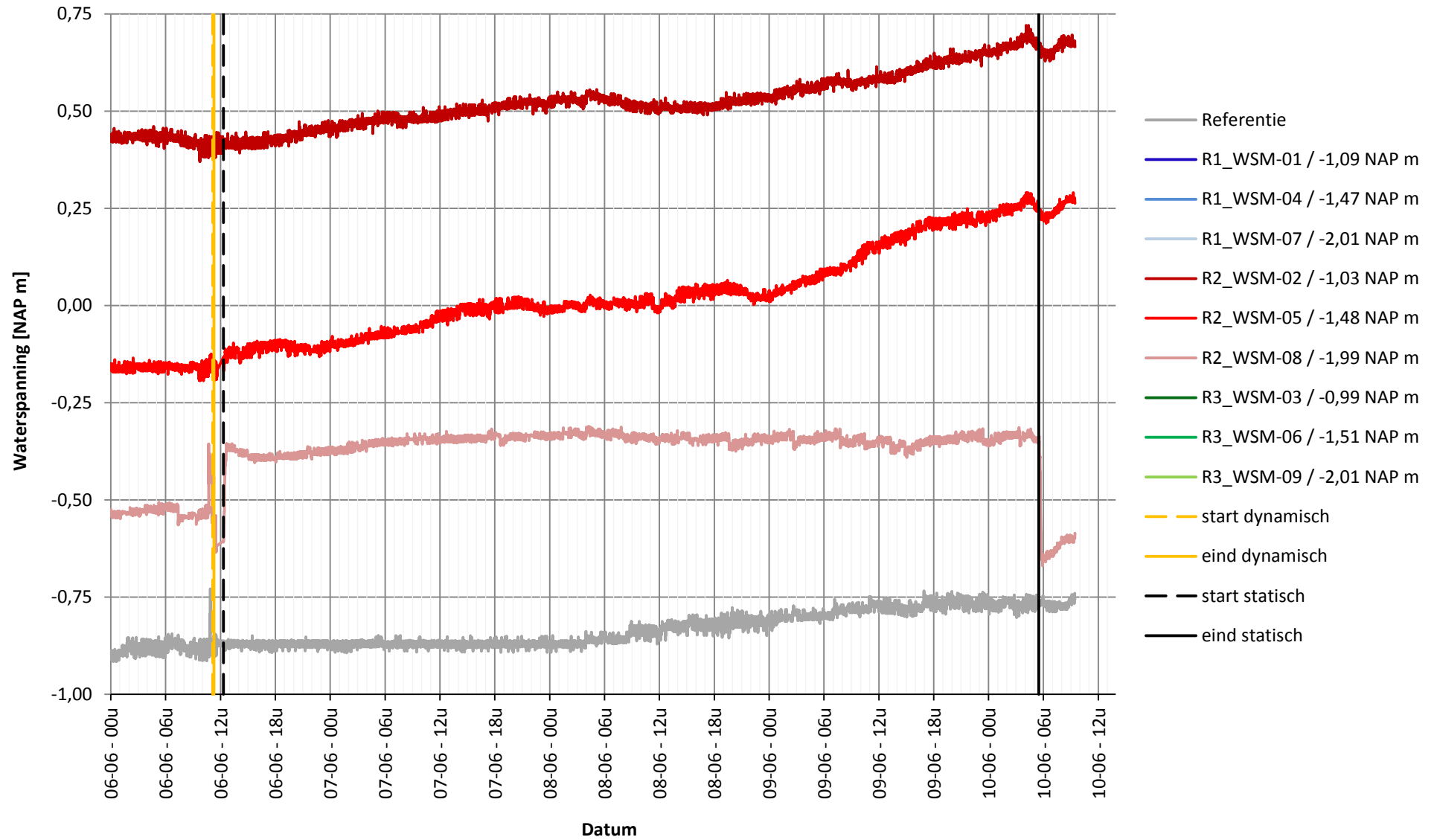
Onderzoekslocatie: Sudwald (Wetterskip)



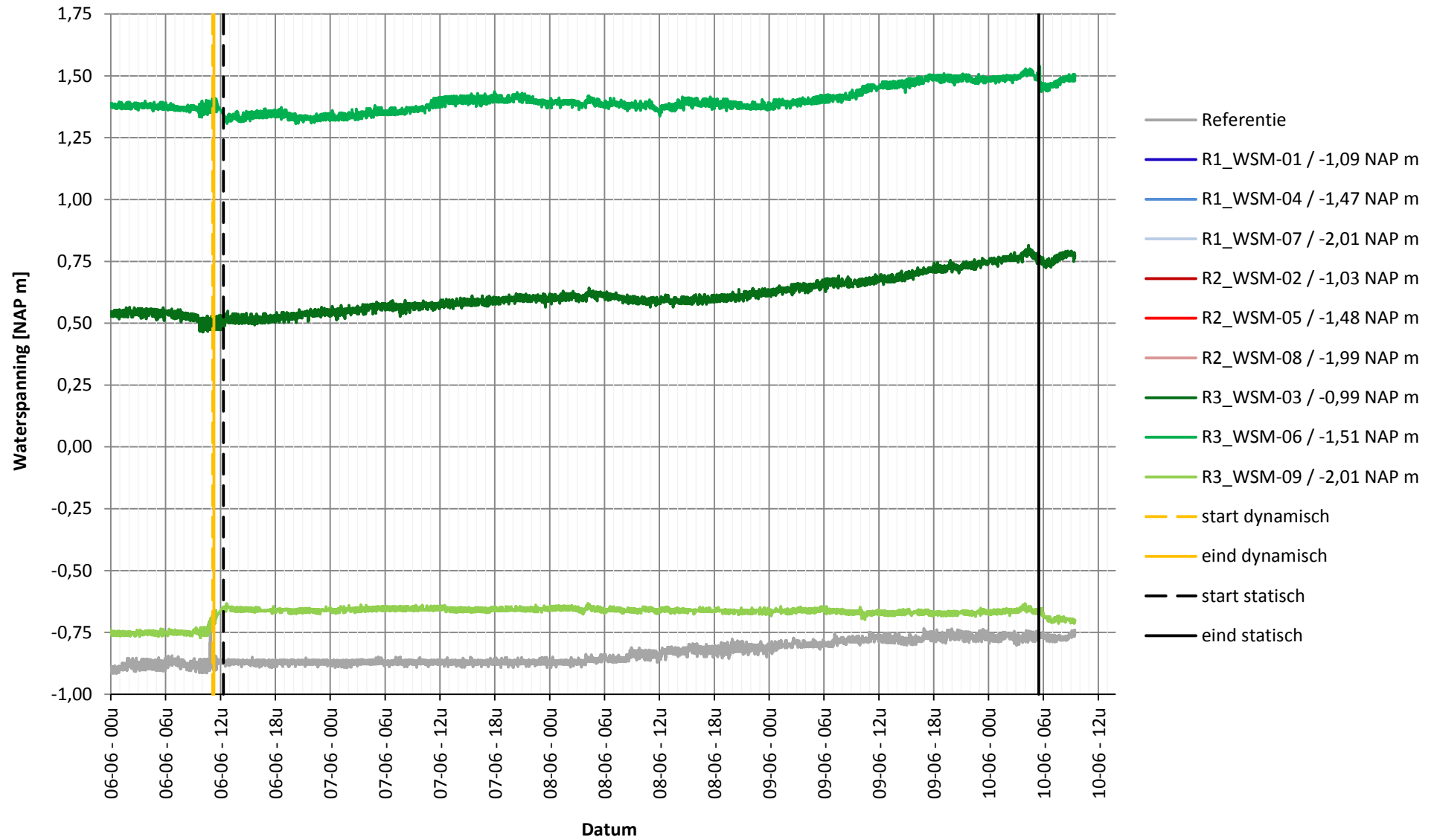
Onderzoekslocatie: Sudwald (Wetterskip)



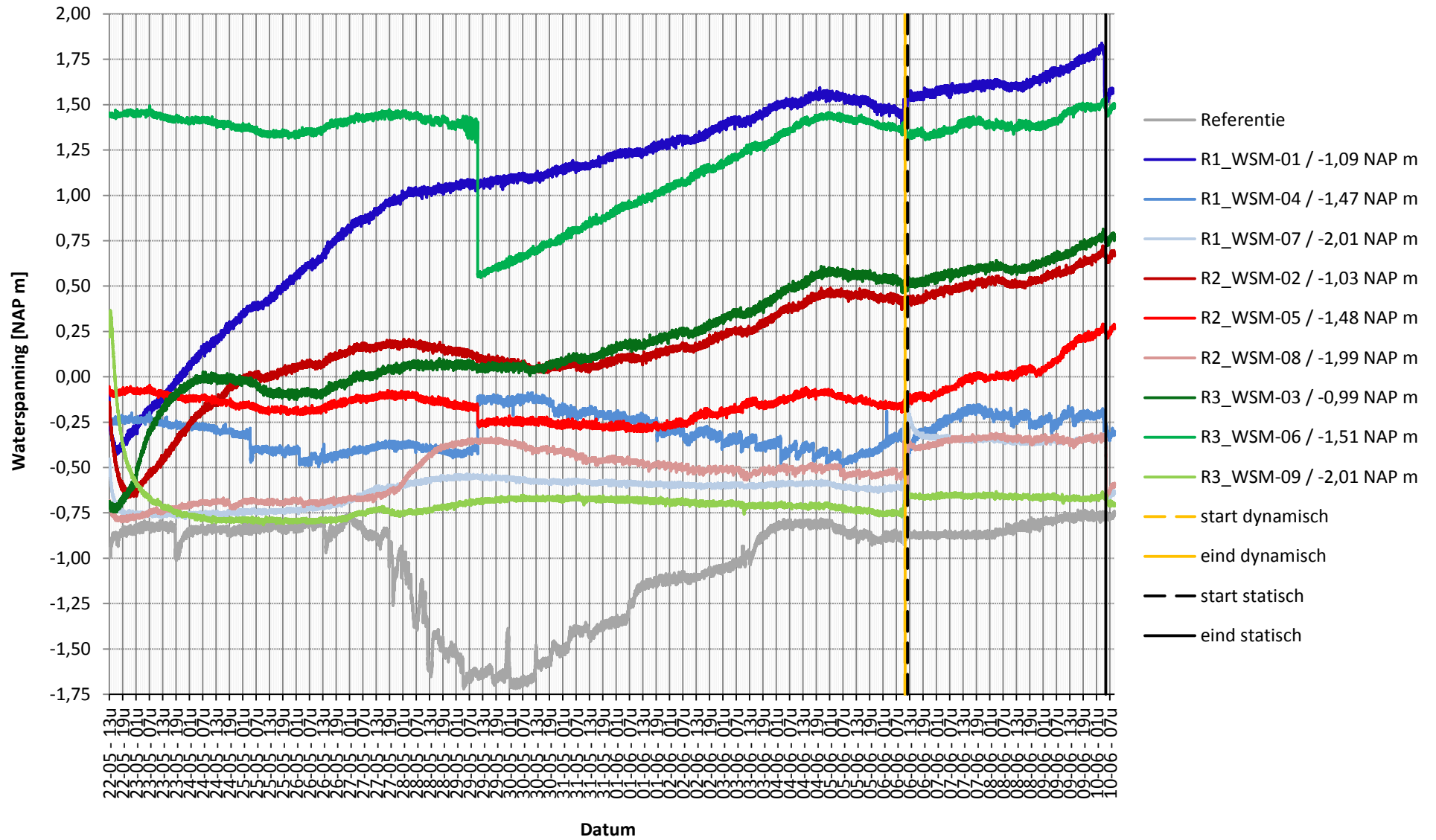
Onderzoekslocatie: Sudwald (Wetterskip)



Onderzoekslocatie: Sudwald (Wetterskip)

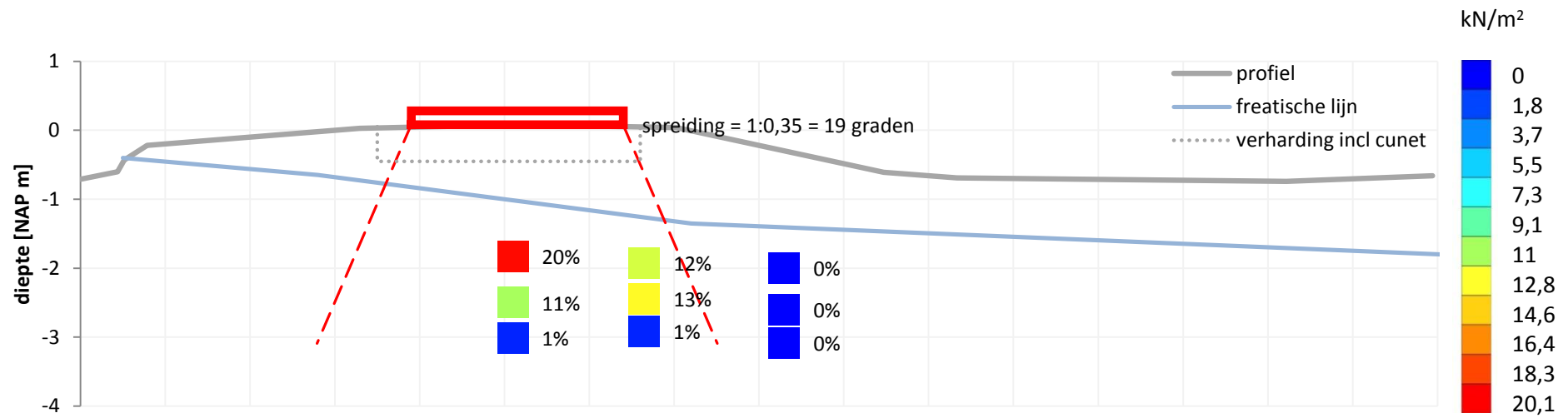


Onderzoekslocatie: Sudwald (Wetterskip)



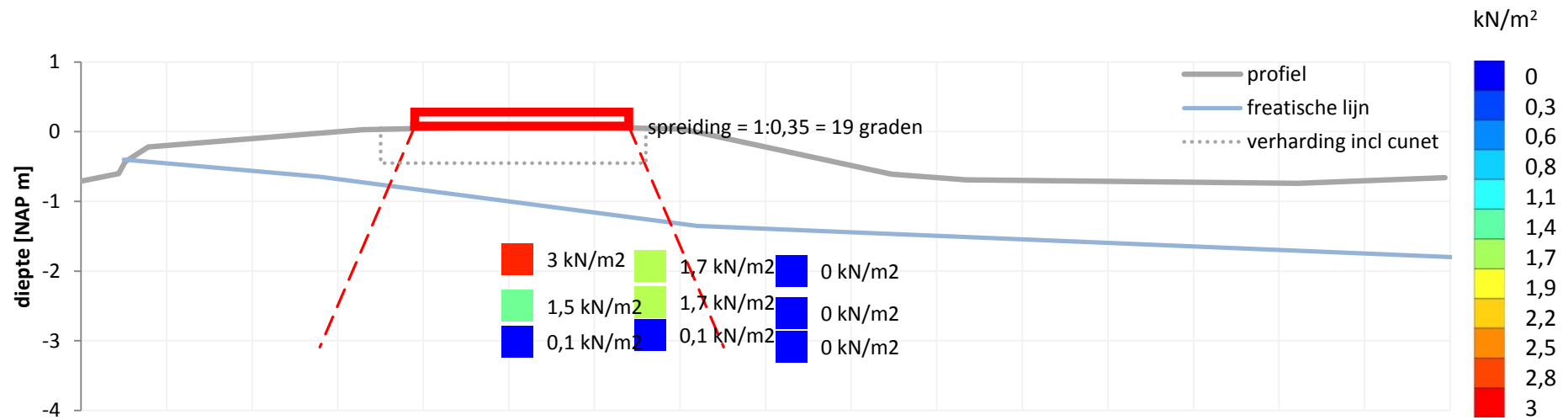
Onderzoekslocatie: Den Hoorn vrachtwagen statisch (Delfland)

Verkeersbelastingproef statisch - Gemeten wateroverspanningen als % van de bovenbelasting gecorrigeerd o.b.v. spreidingshoek

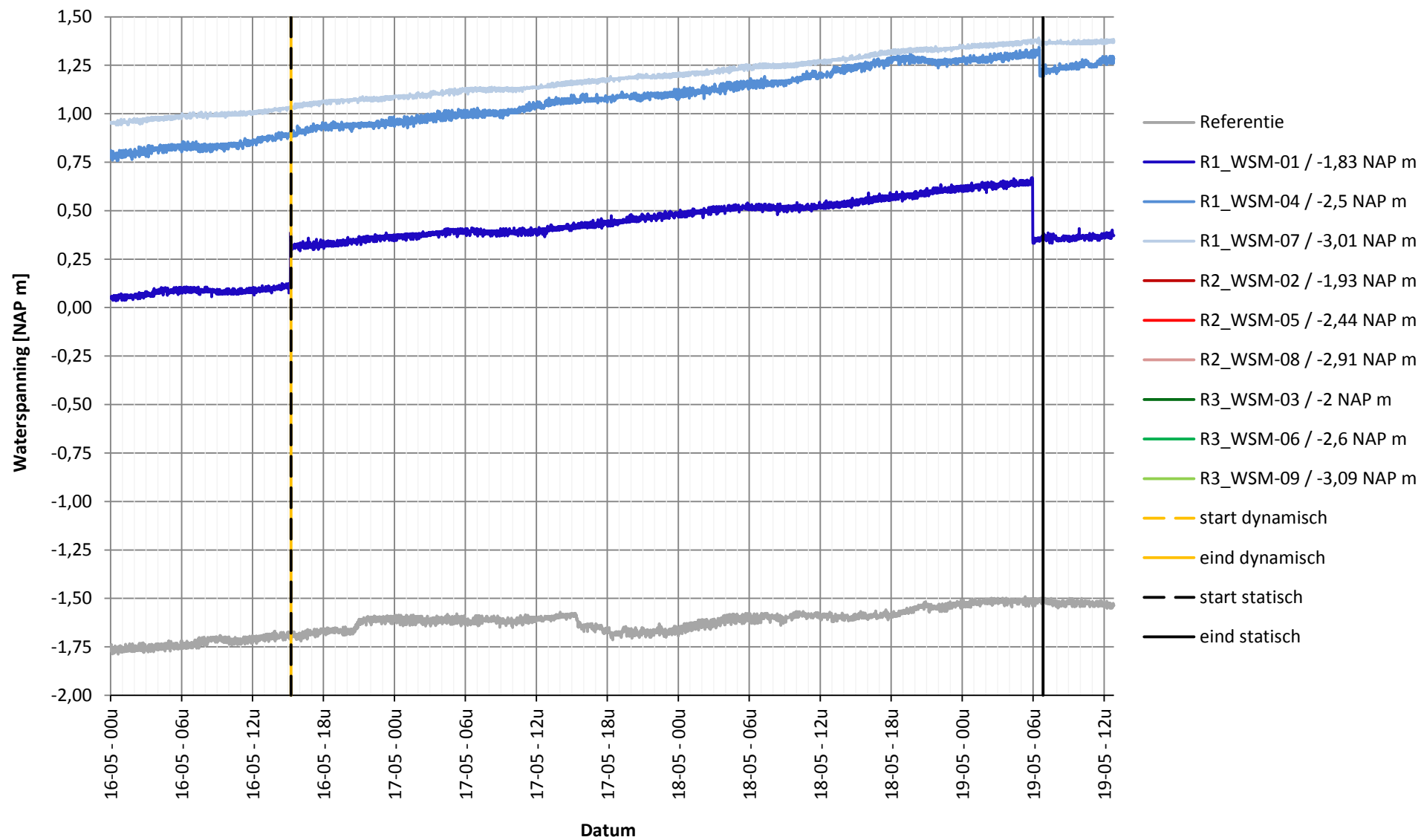


Onderzoekslocatie: Den Hoorn vrachtwagen statisch (Delfland)

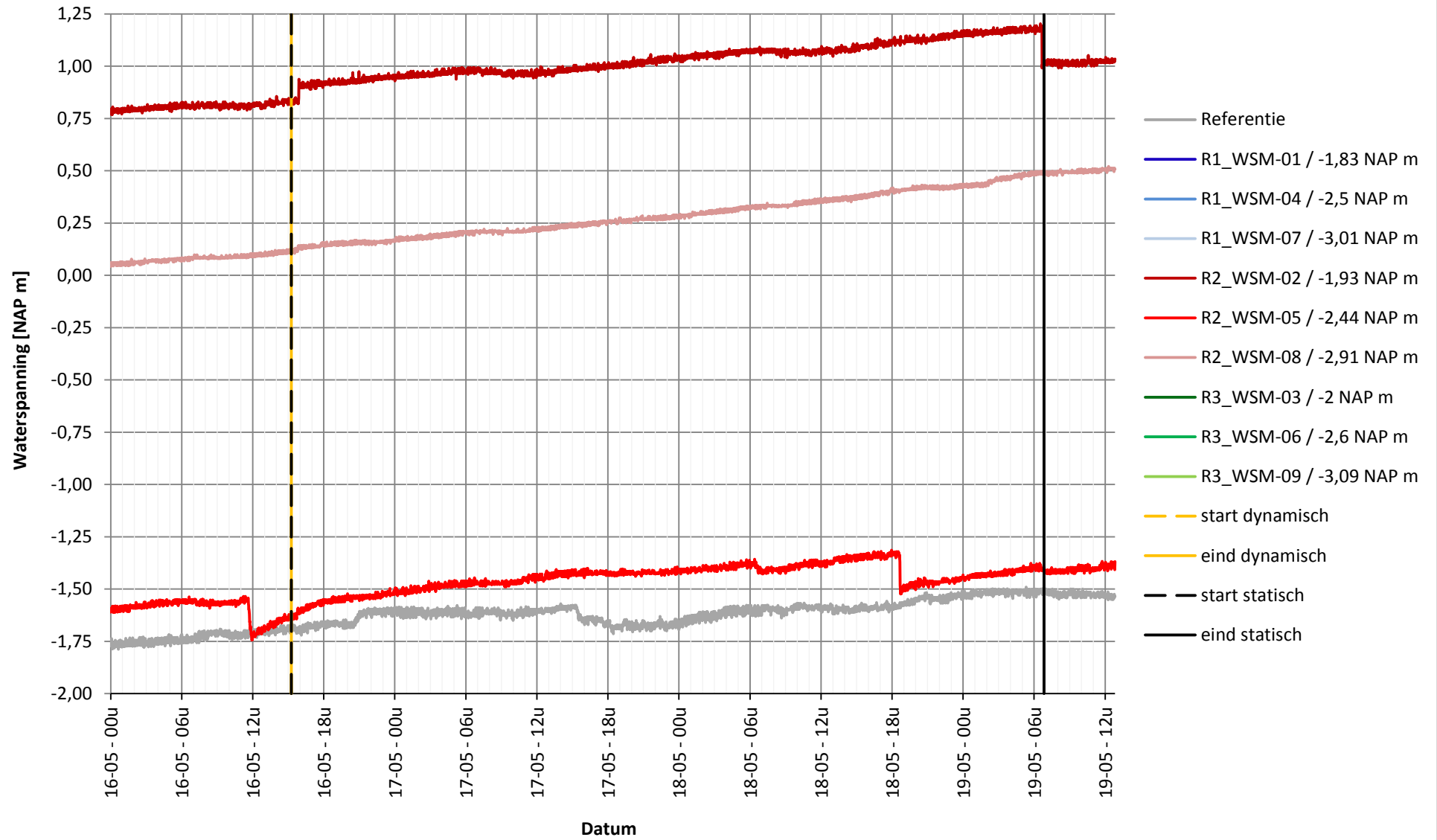
Verkeersbelastingproef statisch - Gemeten wateroverspanningen



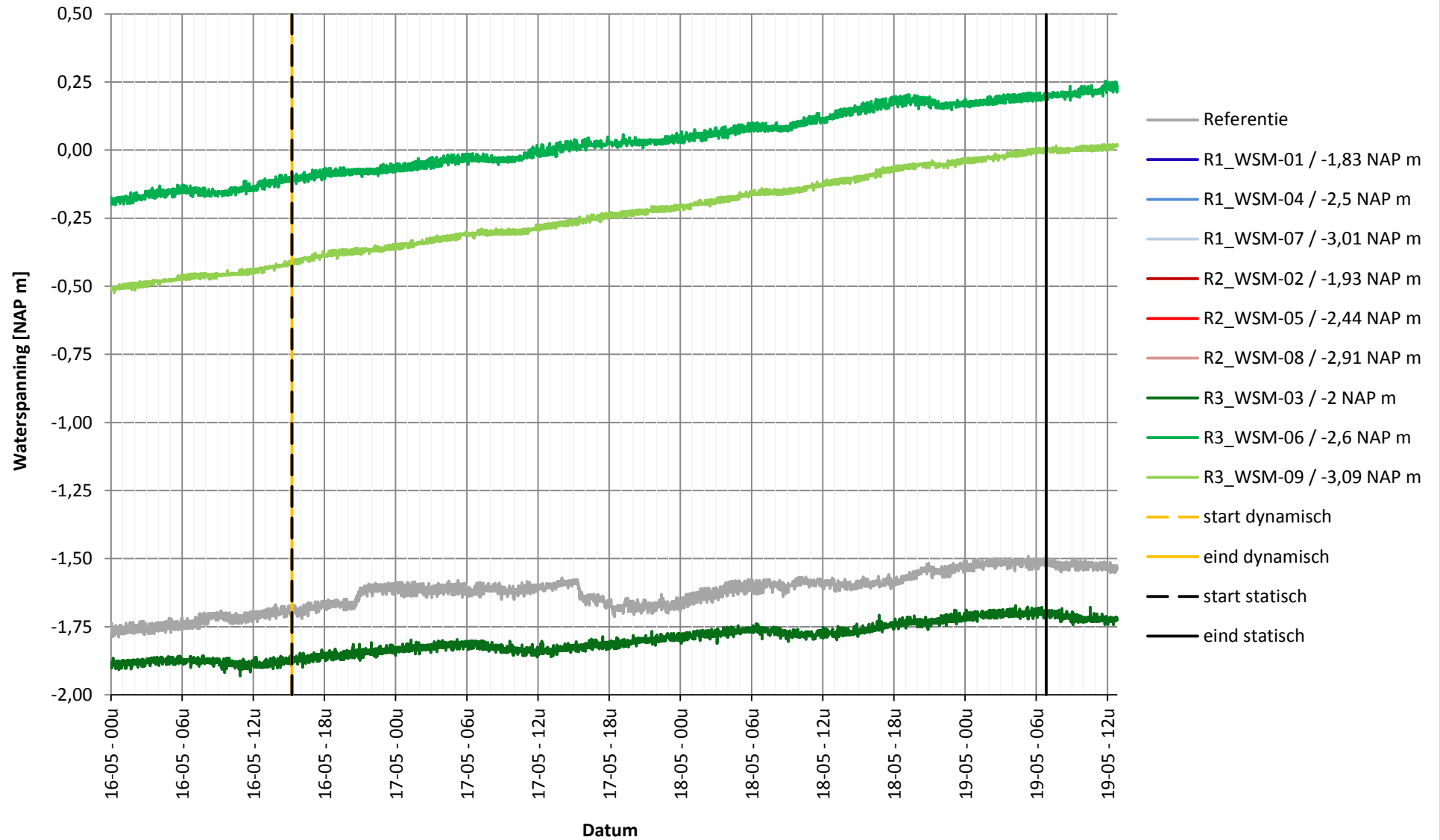
Onderzoekslocatie: Den Hoorn vrachtwagen statisch (Delfland)



Onderzoekslocatie: Den Hoorn vrachtwagen statisch (Delfland)

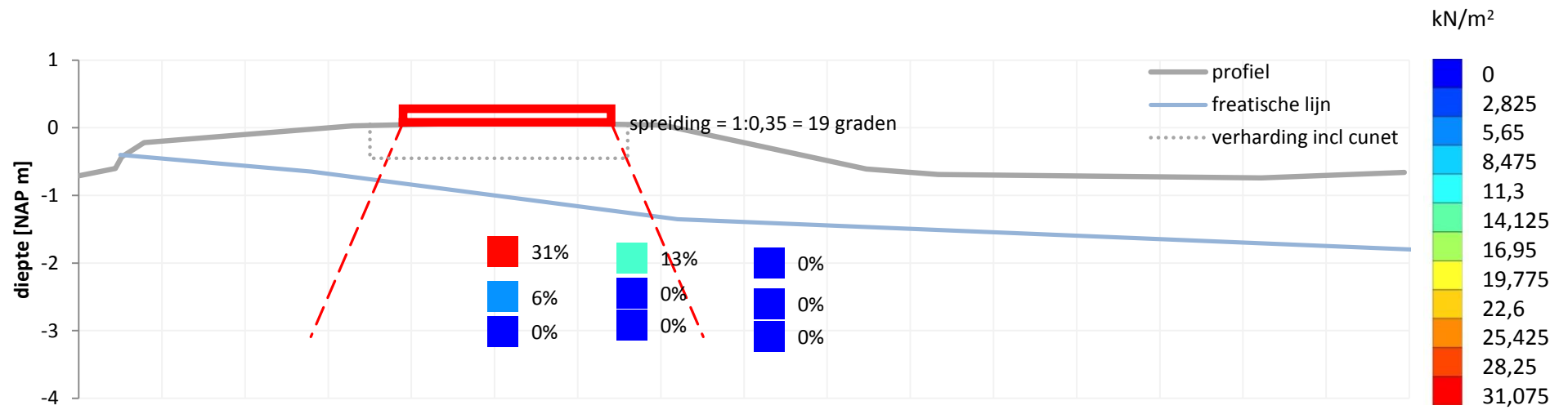


Onderzoekslocatie: Den Hoorn vrachtwagen statisch (Delfland)



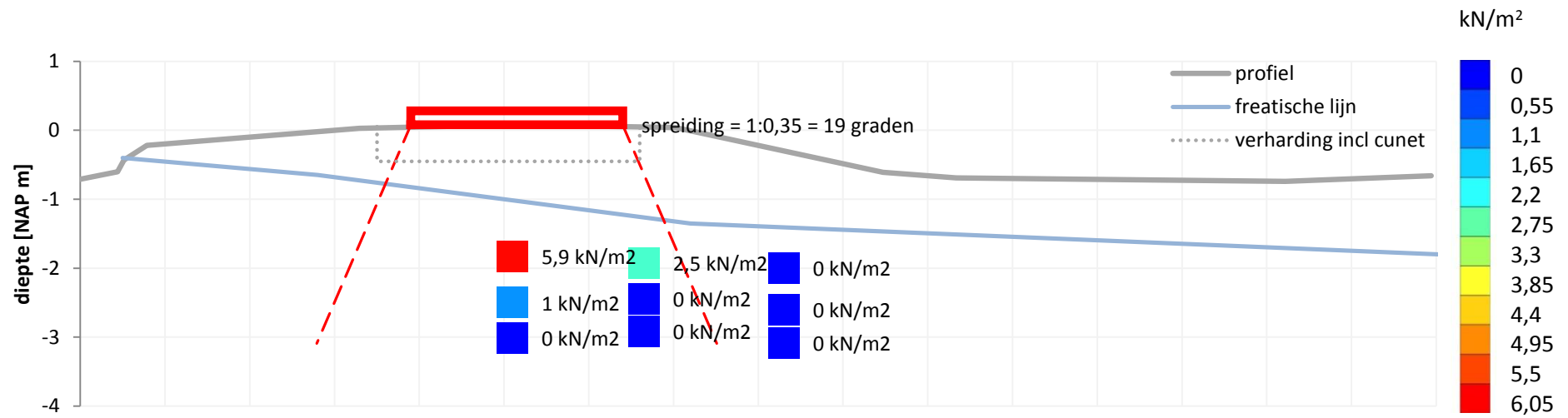
Onderzoekslocatie: Den Hoorn (Delfland)

Verkeersbelastingproef dynamisch - Gemeten wateroverspanningen als % van de bovenbelasting gecorrigeerd o.b.v. spreidingshoek



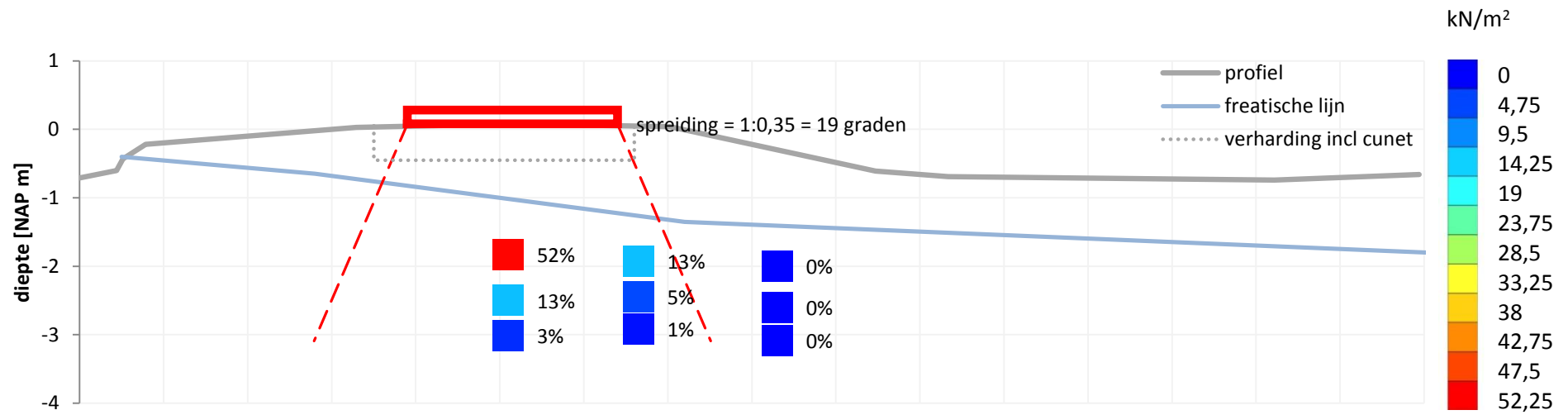
Onderzoekslocatie: Den Hoorn (Delfland)

Verkeersbelastingproef dynamisch - Gemeten wateroverspanningen



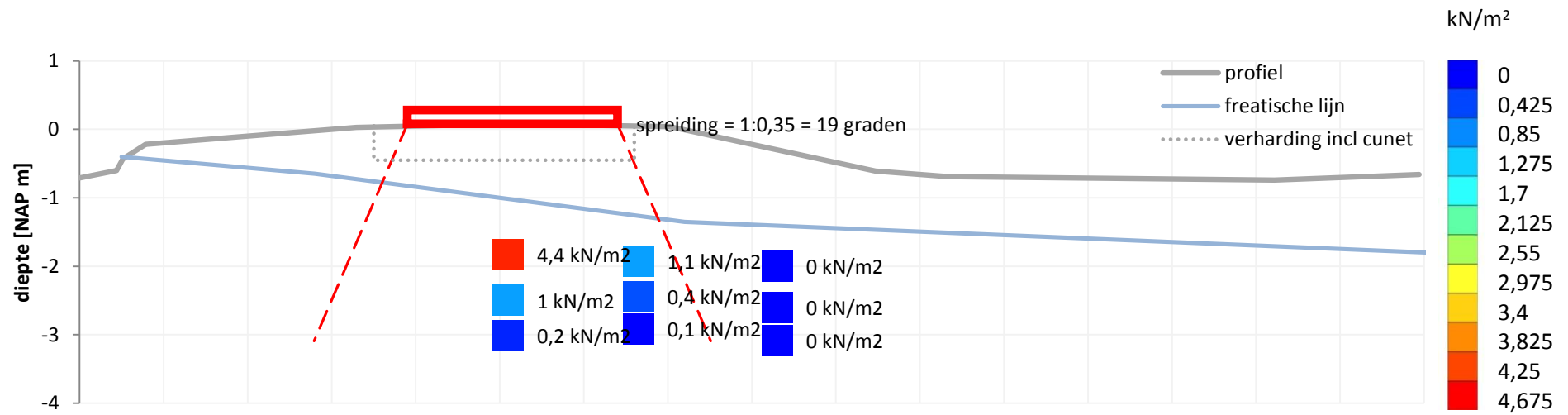
Onderzoekslocatie: Den Hoorn (Delfland)

Verkeersbelastingproef statisch - Gemeten wateroverspanningen als % van de bovenbelasting gecorrigeerd o.b.v. spreidingshoek

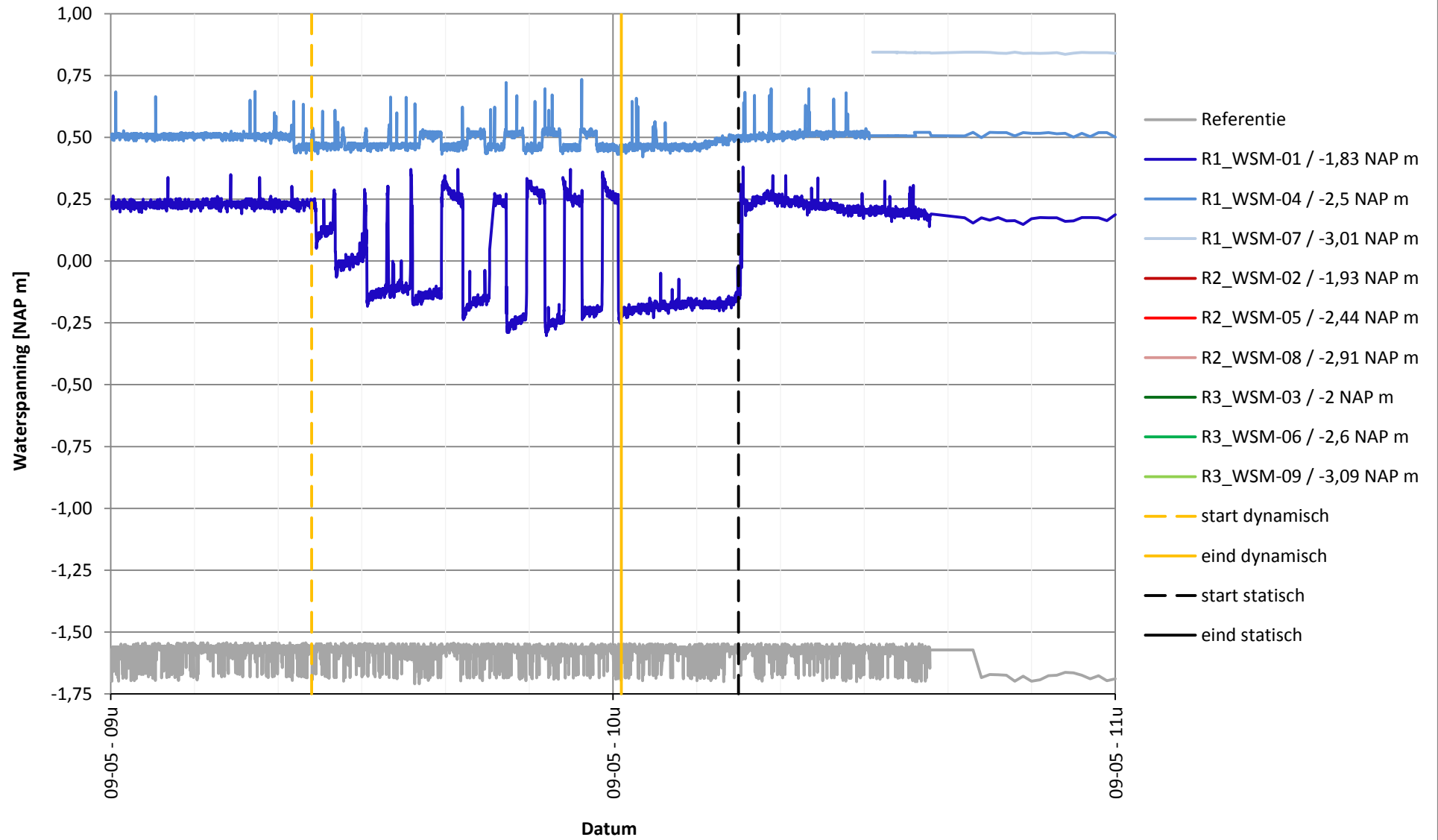


Onderzoekslocatie: Den Hoorn (Delfland)

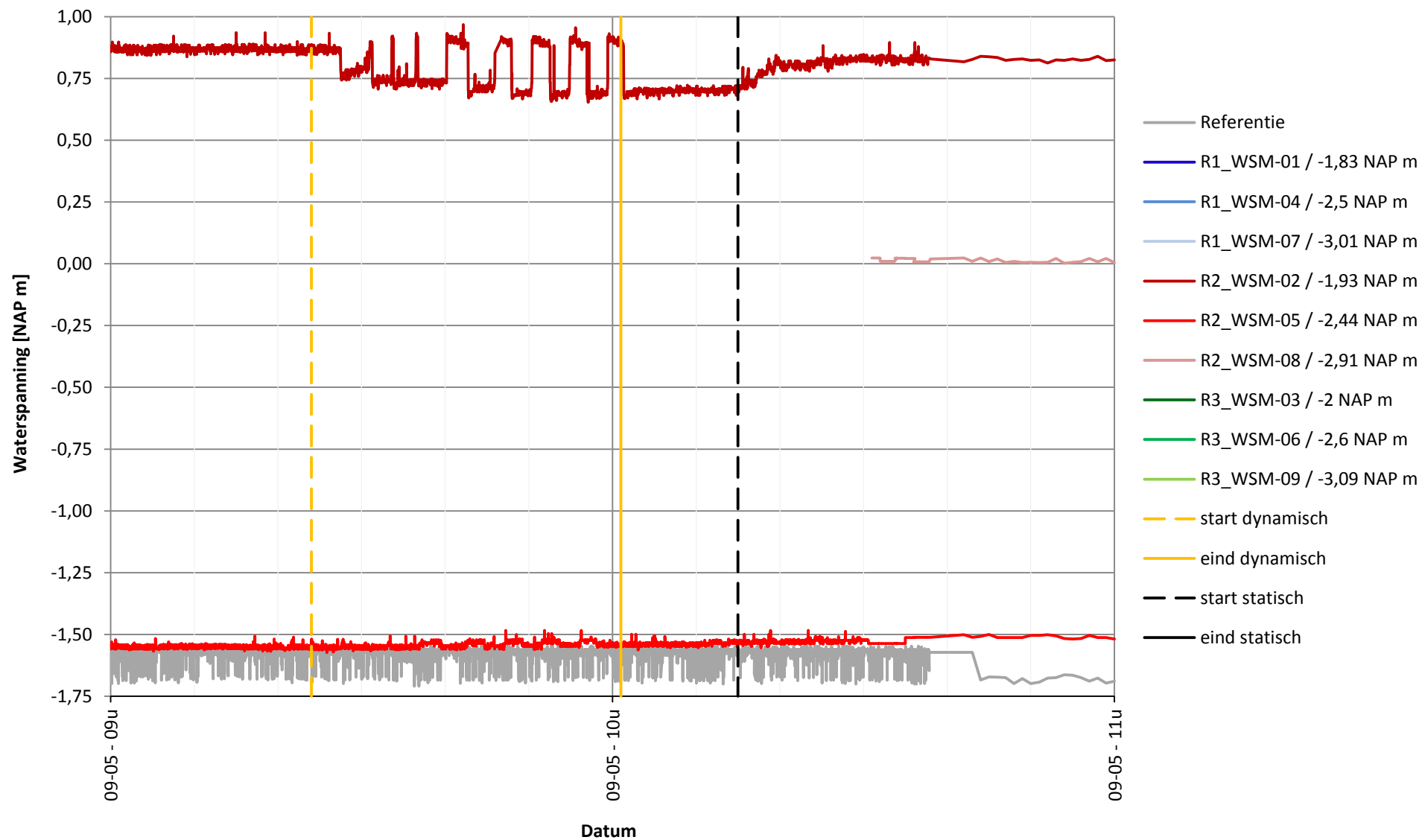
Verkeersbelastingproef statisch - Gemeten wateroverspanningen



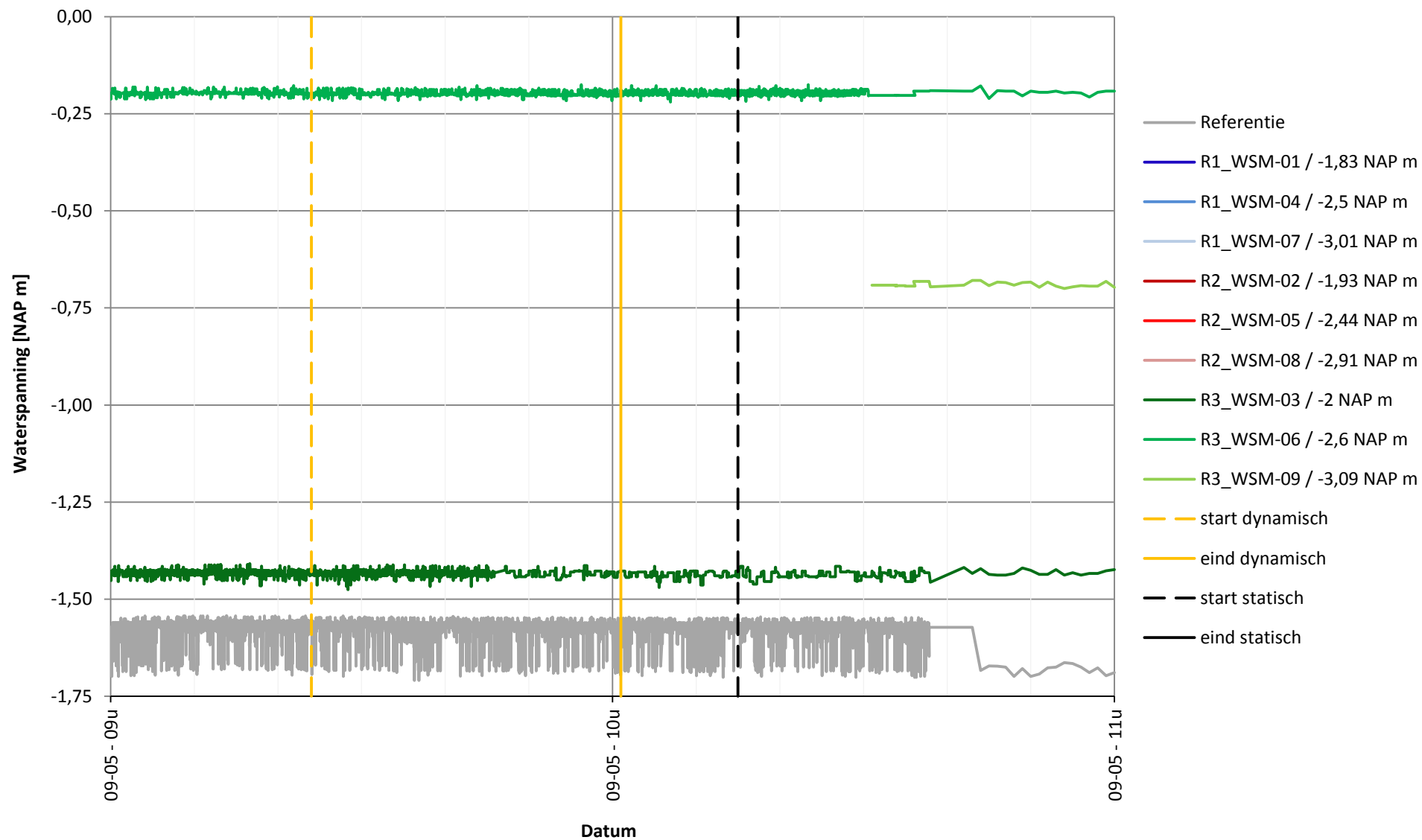
Onderzoekslocatie: Den Hoorn (Delfland)



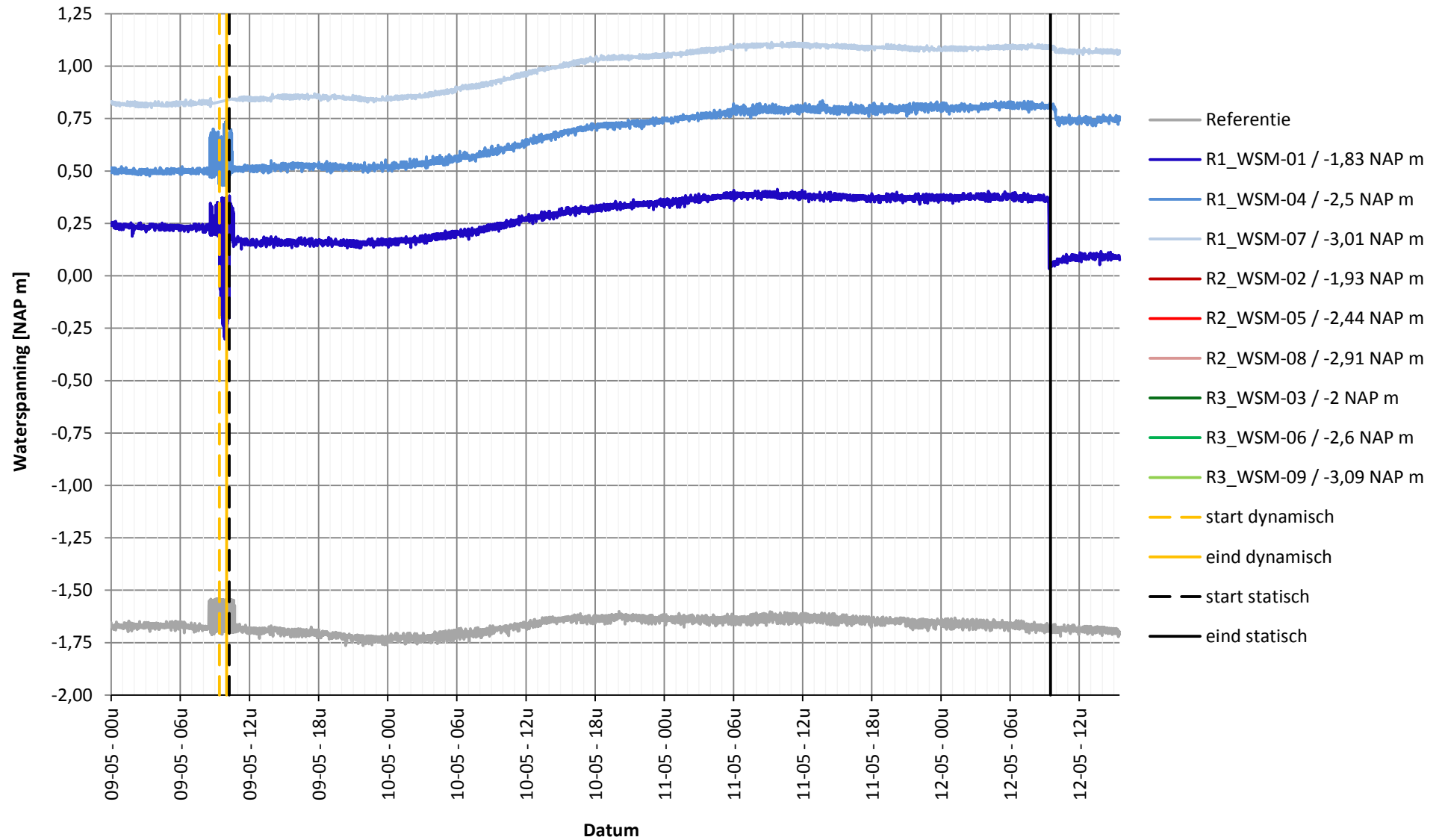
Onderzoekslocatie: Den Hoorn (Delfland)



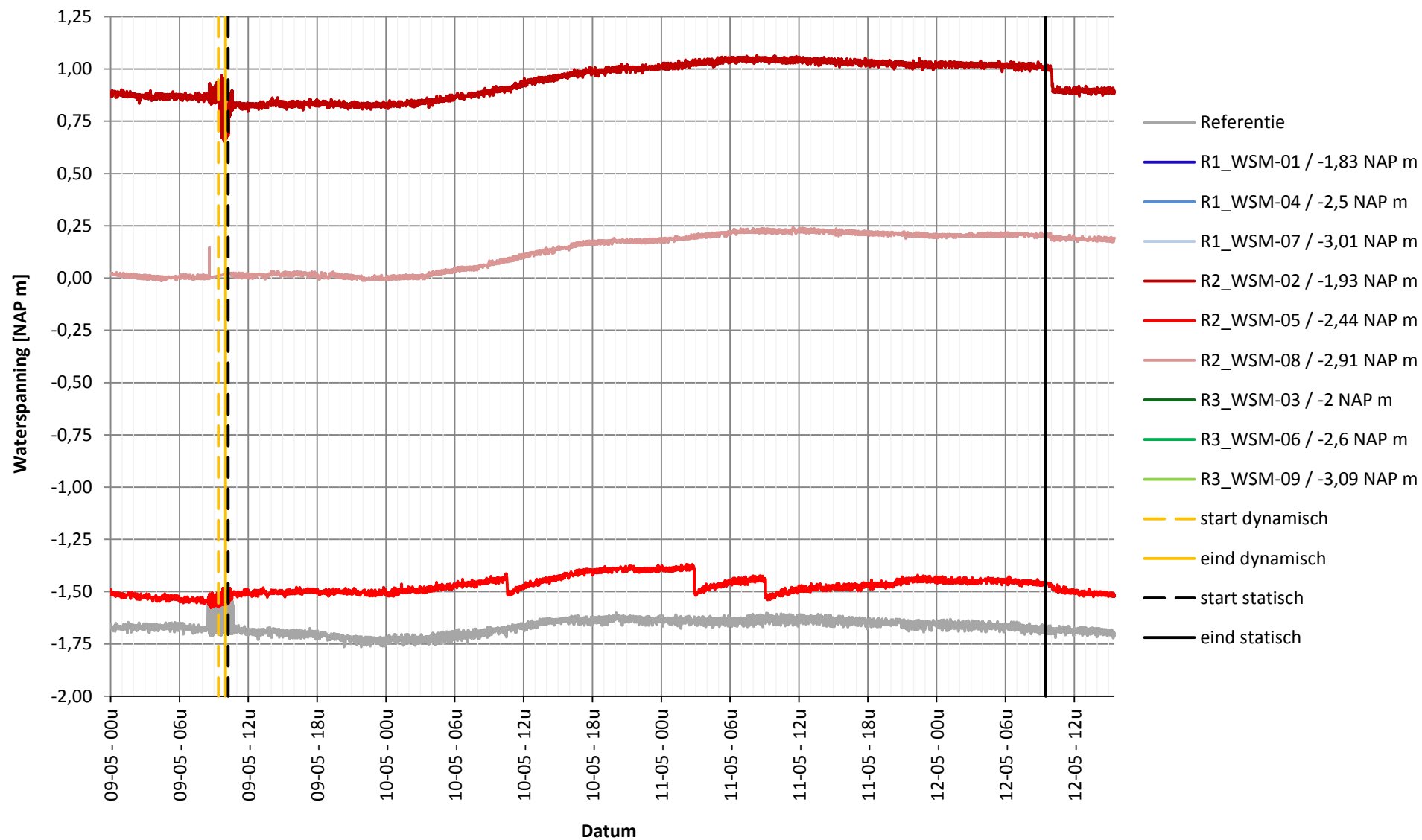
Onderzoekslocatie: Den Hoorn (Delfland)



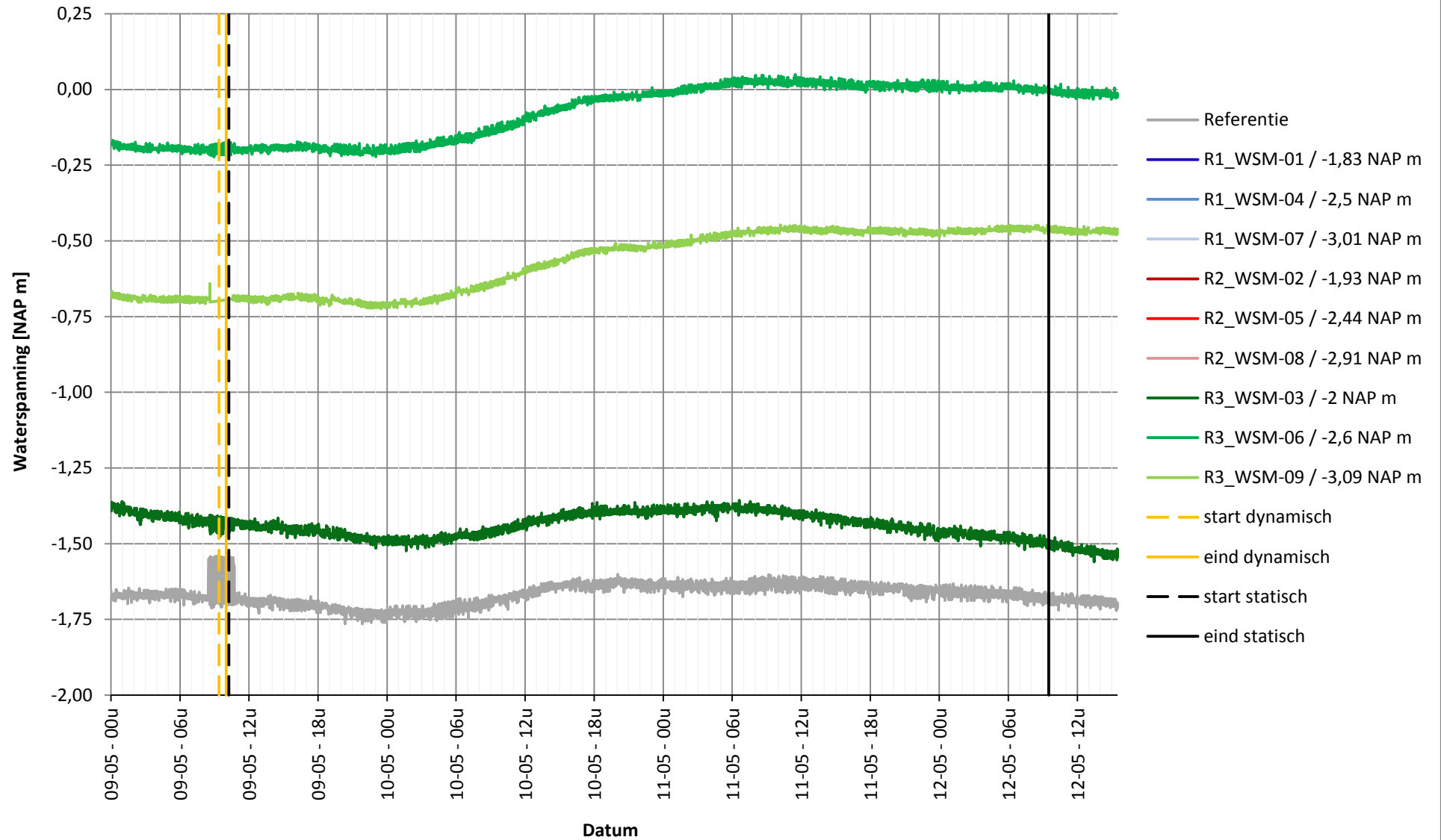
Onderzoekslocatie: Den Hoorn (Delfland)



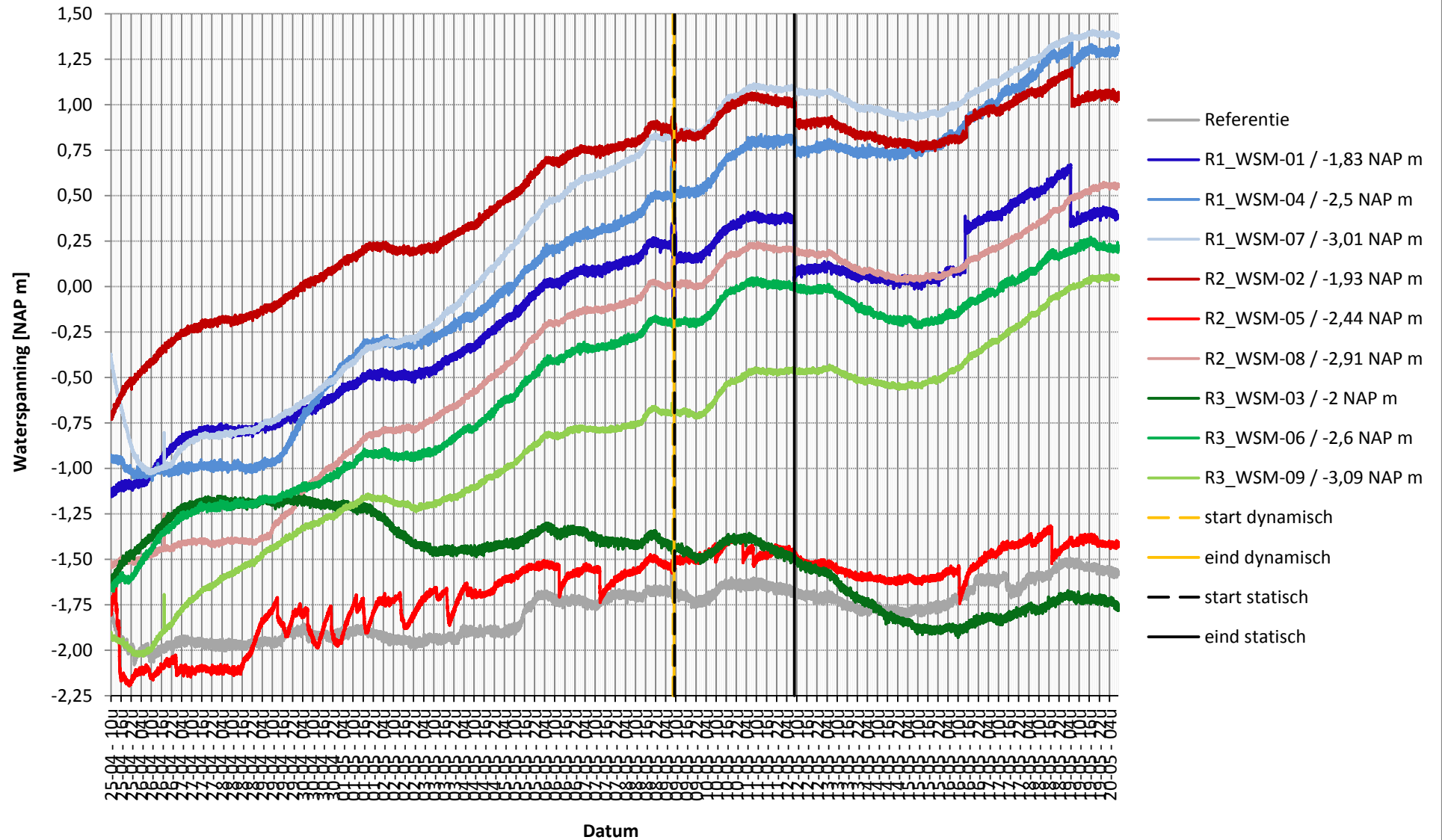
Onderzoekslocatie: Den Hoorn (Delfland)



Onderzoekslocatie: Den Hoorn (Delfland)

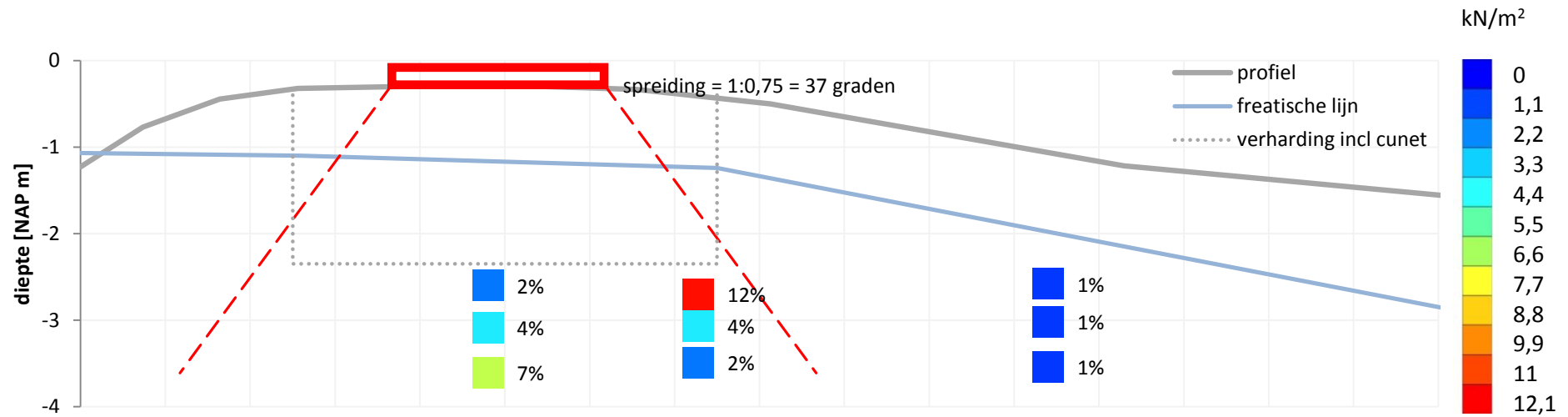


Onderzoekslocatie: Den Hoorn (Delfland)



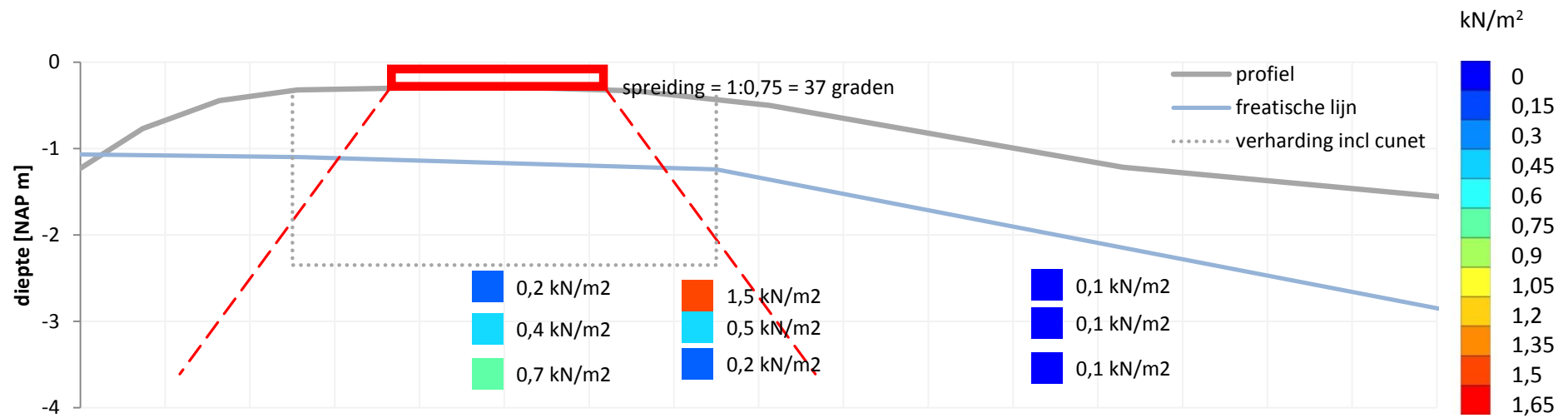
Onderzoekslocatie: Zevenhuizen

Verkeersbelastingproef dynamisch - Gemeten wateroverspanningen als % van de bovenbelasting gecorrigeerd o.b.v. spreidingshoek



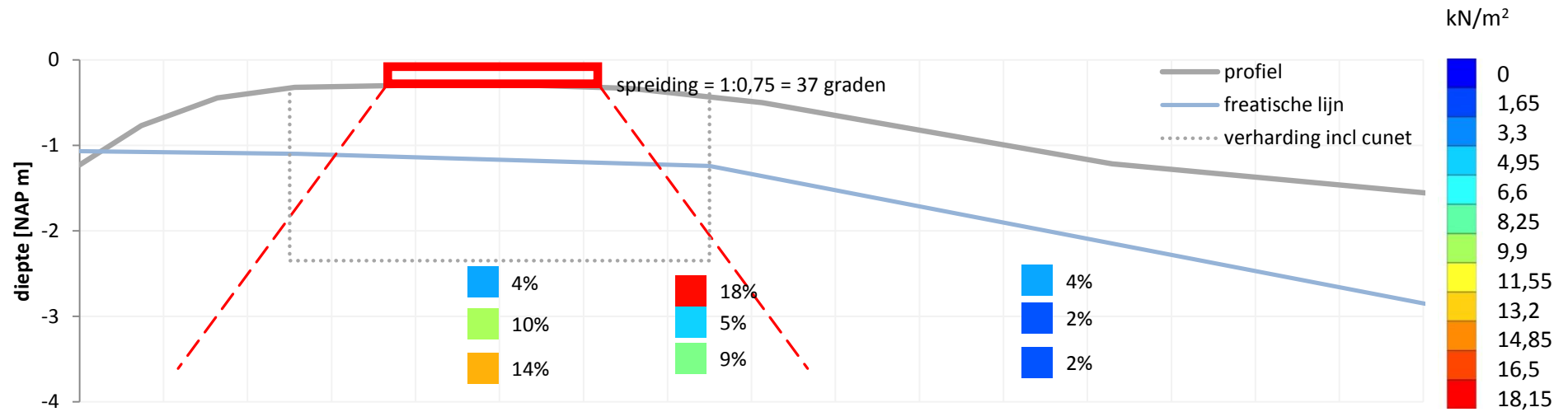
Onderzoekslocatie: Zevenhuizen

Verkeersbelastingproef dynamisch - Gemeten wateroverspanningen



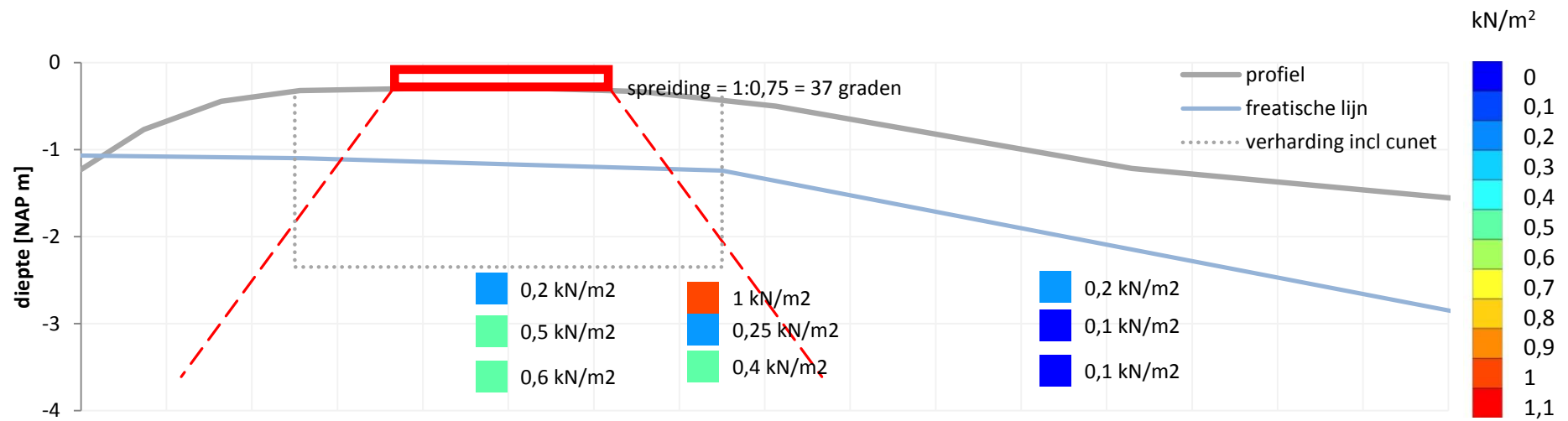
Onderzoekslocatie: Zevenhuizen

Verkeersbelastingproef statisch - Gemeten wateroverspanningen als % van de bovenbelasting gecorrigeerd o.b.v. spreidingshoek

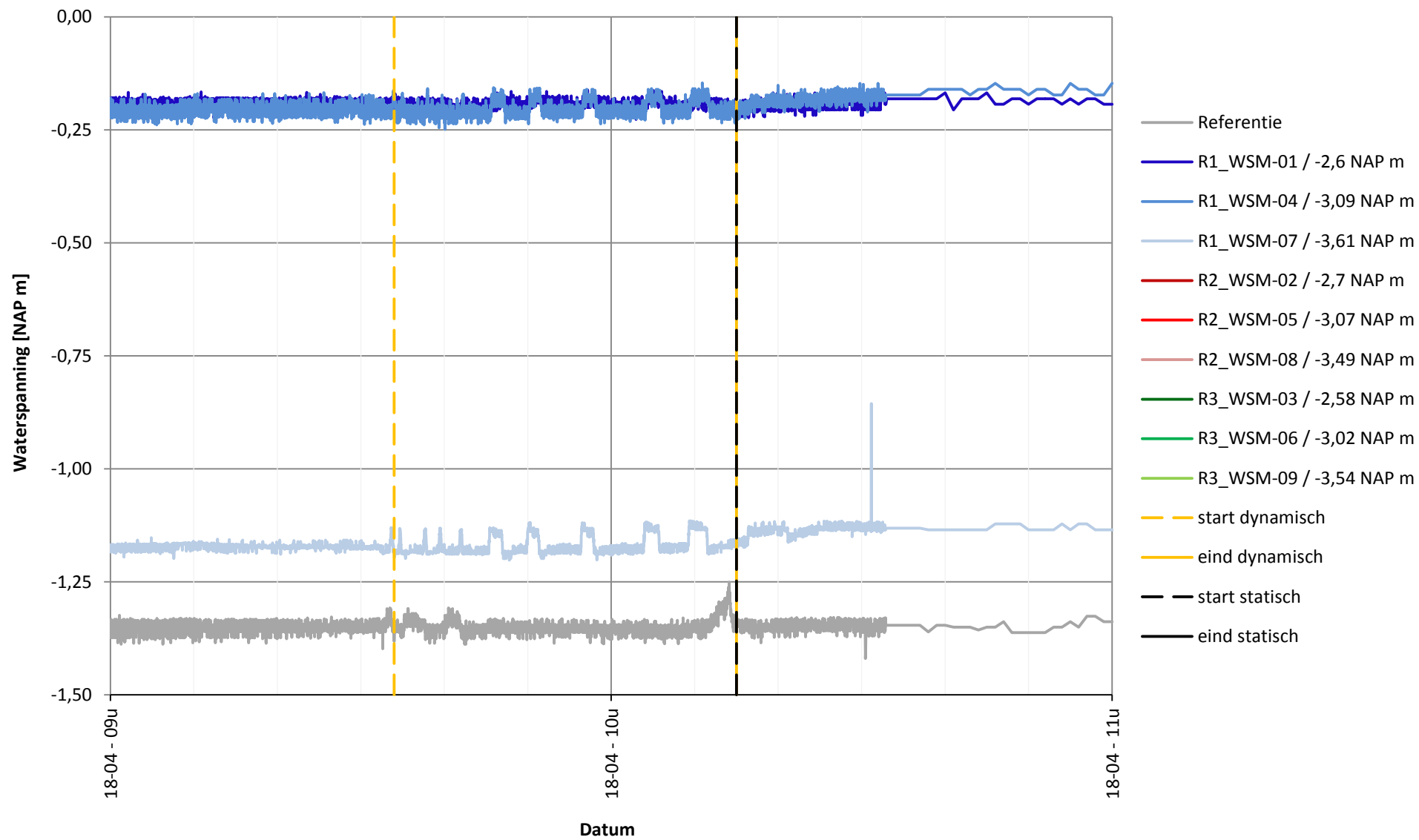


Onderzoekslocatie: Zevenhuizen

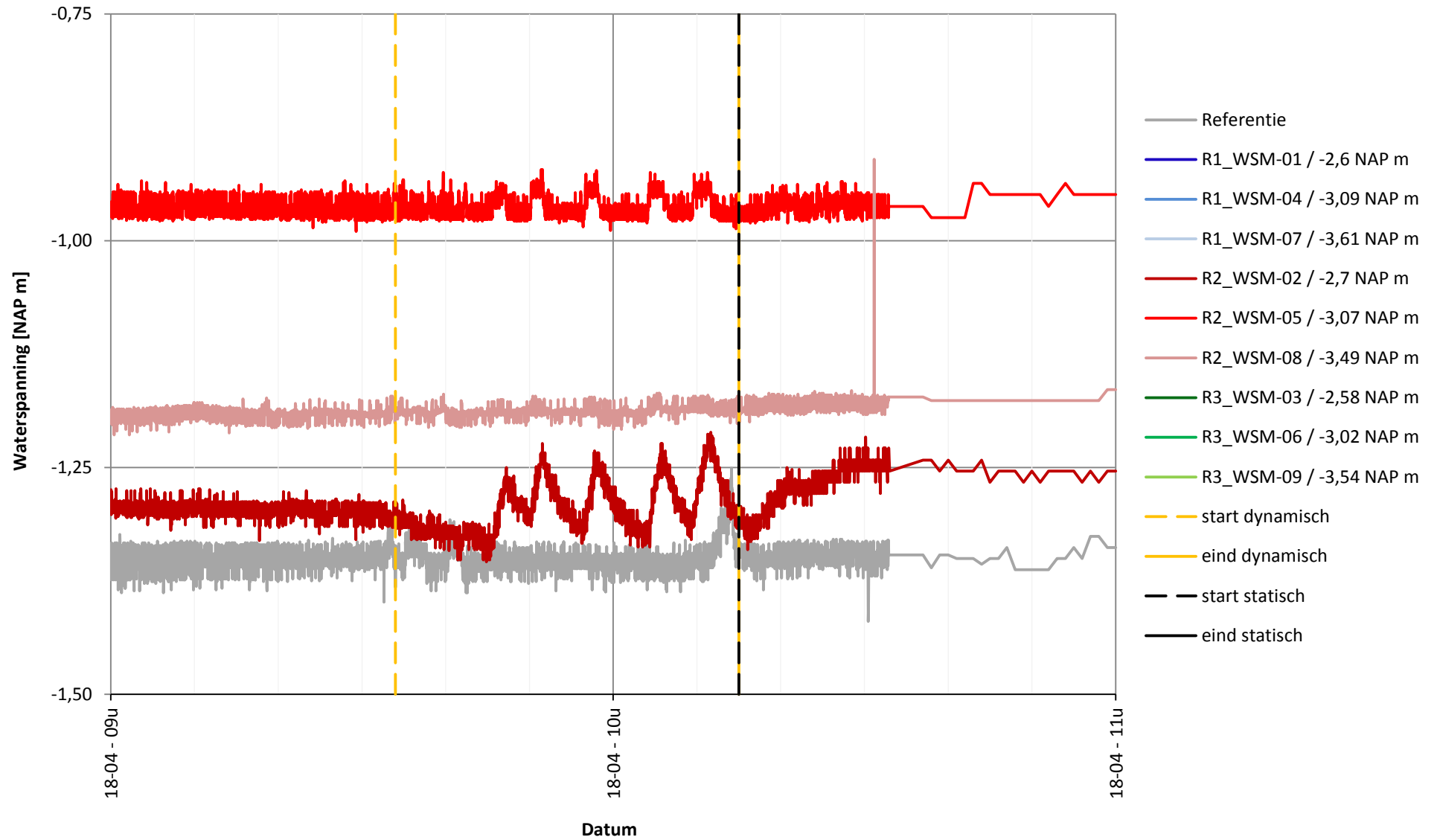
Verkeersbelastingproef statisch - Gemeten wateroverspanningen



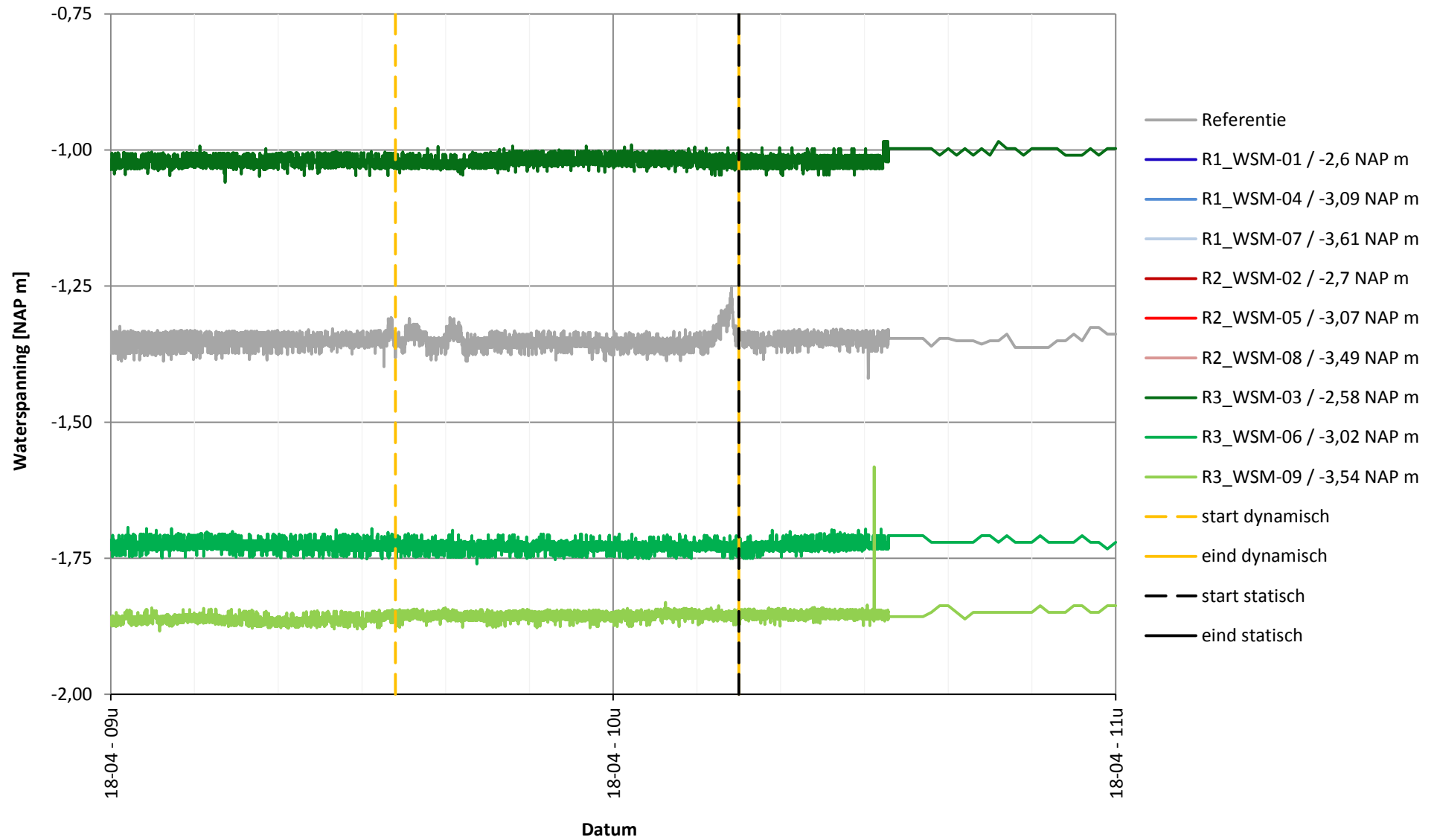
Onderzoekslocatie: Zevenhuizen



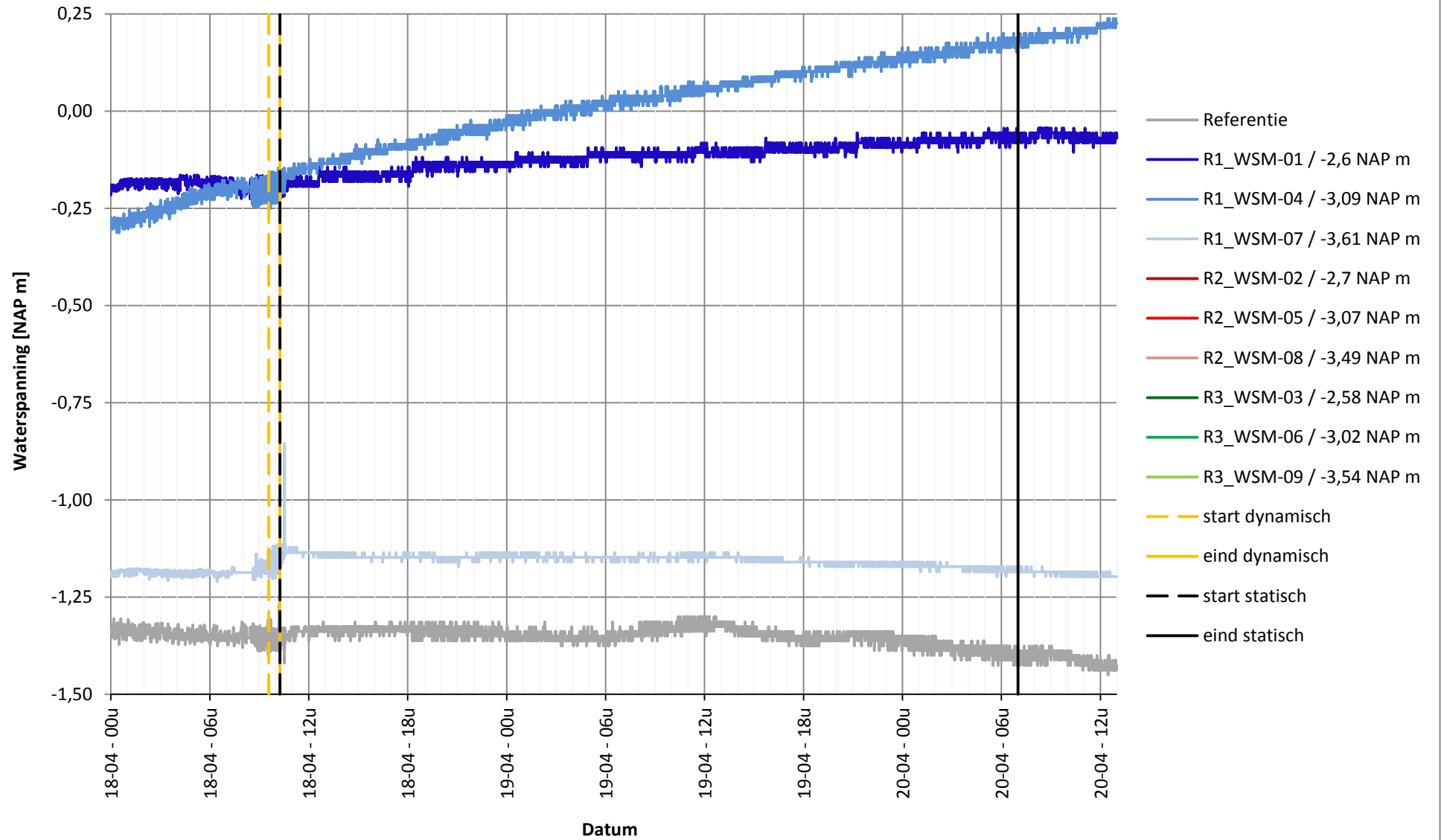
Onderzoekslocatie: Zevenhuizen



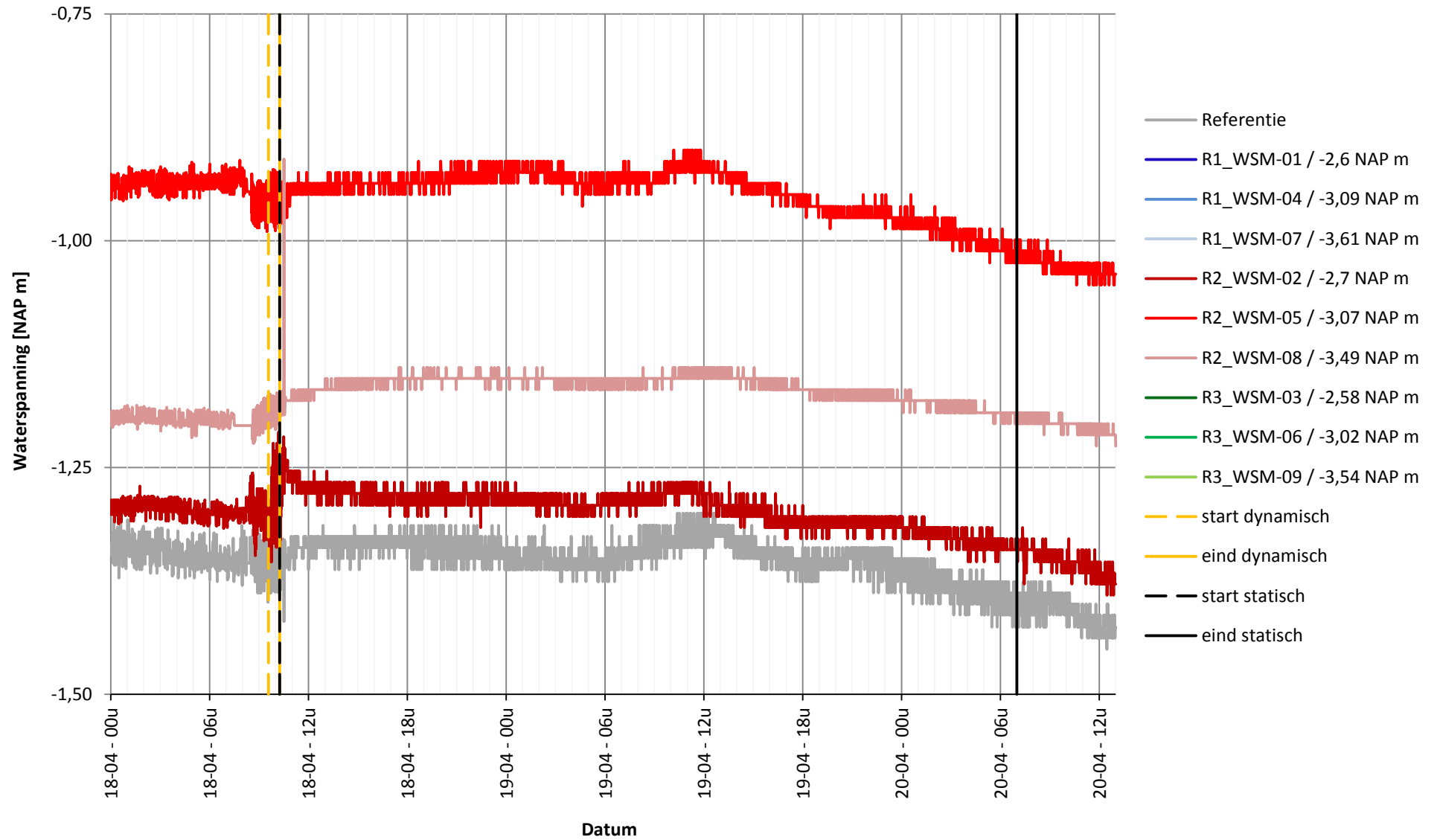
Onderzoekslocatie: Zevenhuizen



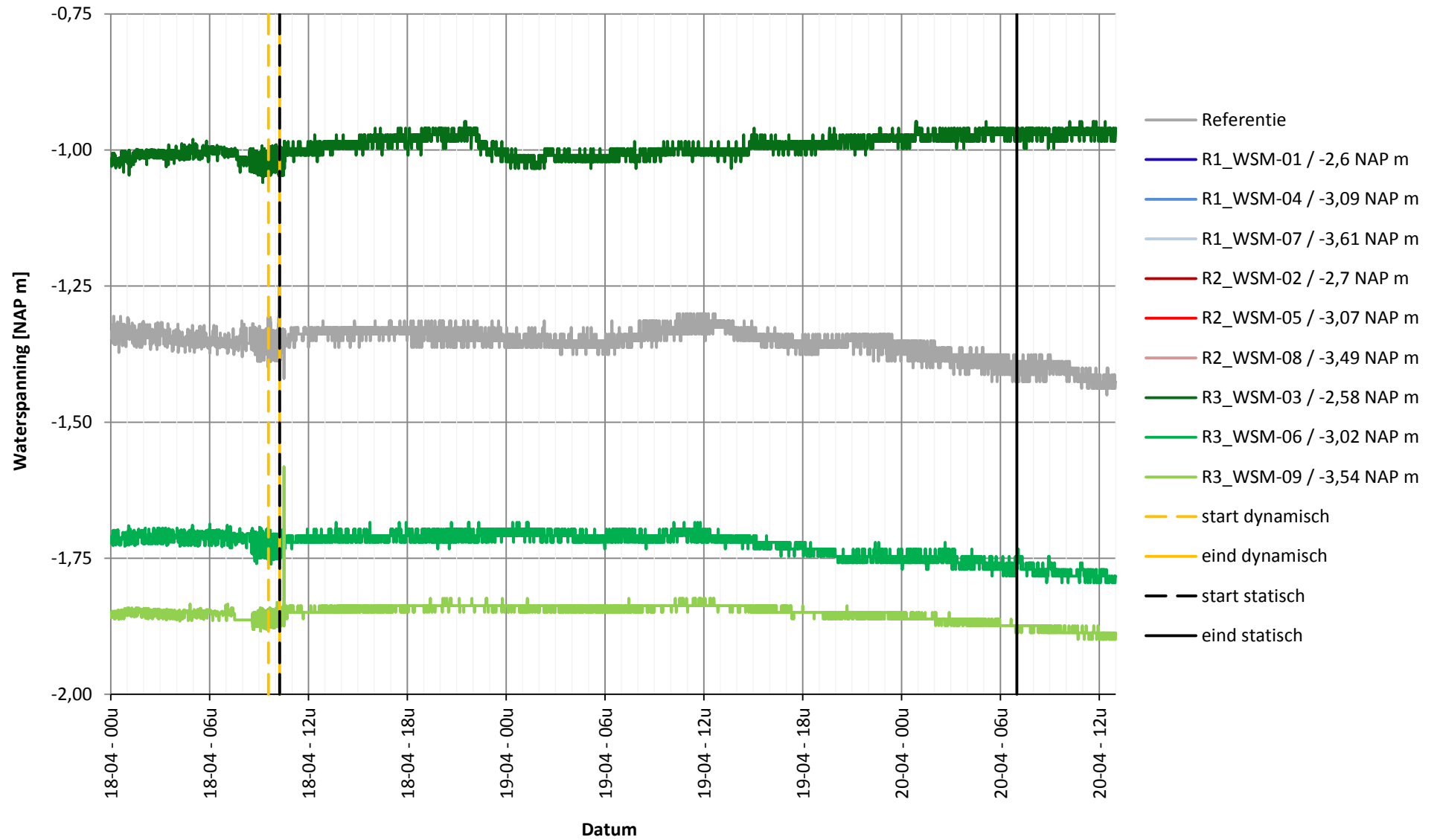
Onderzoekslocatie: Zevenhuizen



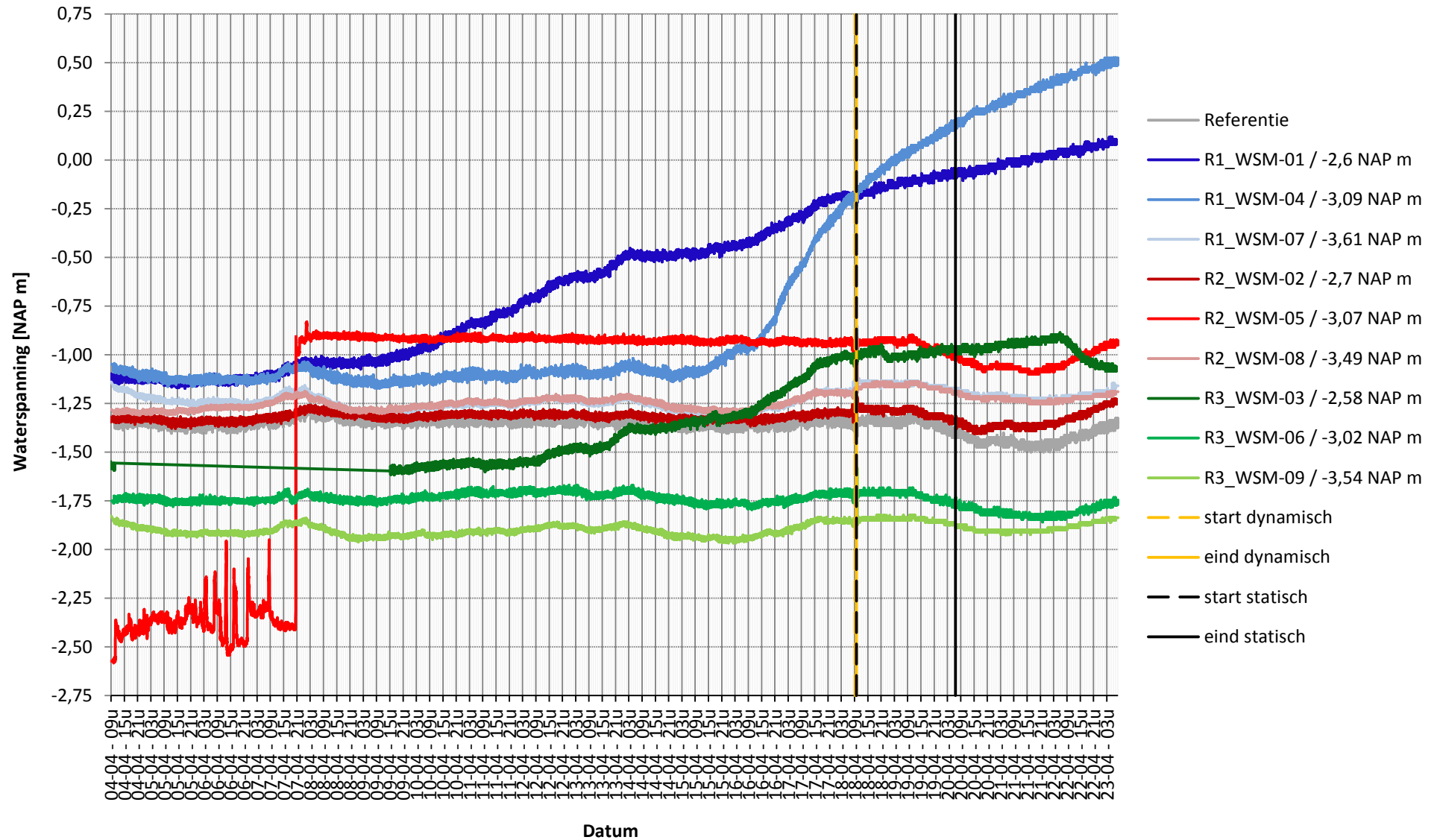
Onderzoekslocatie: Zevenhuizen



Onderzoekslocatie: Zevenhuizen

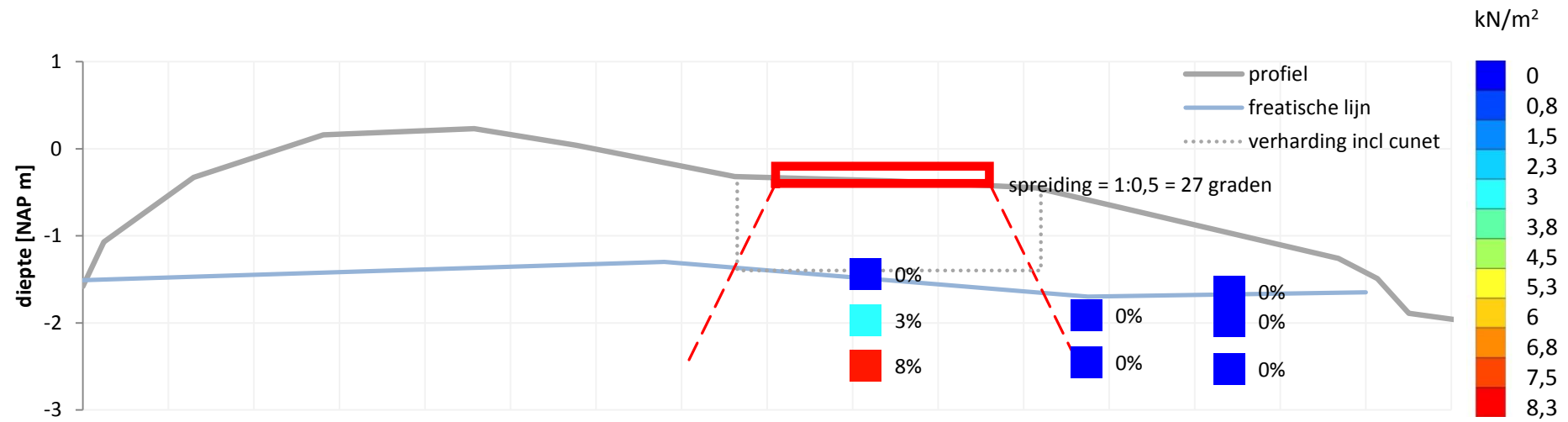


Onderzoekslocatie: Zevenhuizen



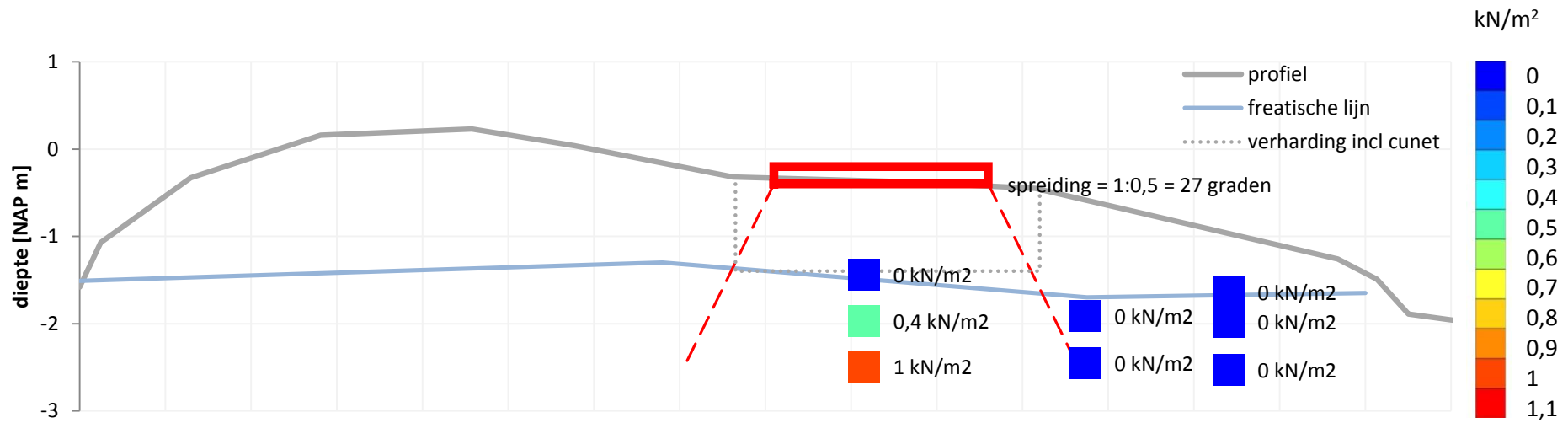
Onderzoekslocatie: Monnickendam (HHNK)

Verkeersbelastingproef dynamisch - Gemeten wateroverspanningen als % van de bovenbelasting gecorrigeerd o.b.v. spreidingshoek



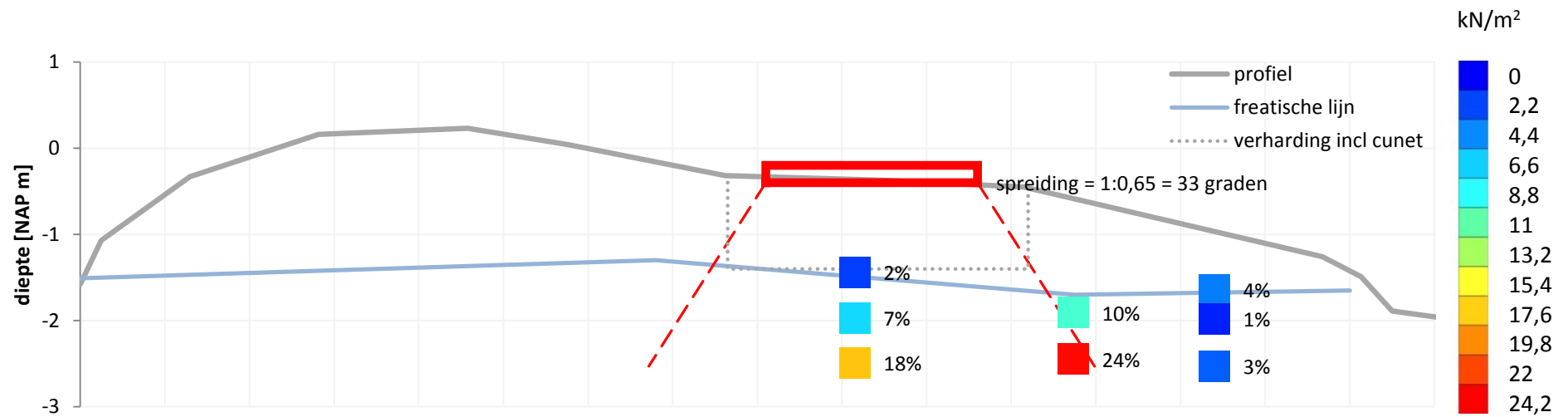
Onderzoekslocatie: Monnickendam (HHNK)

Verkeersbelastingproef dynamisch - Gemeten wateroverspanningen



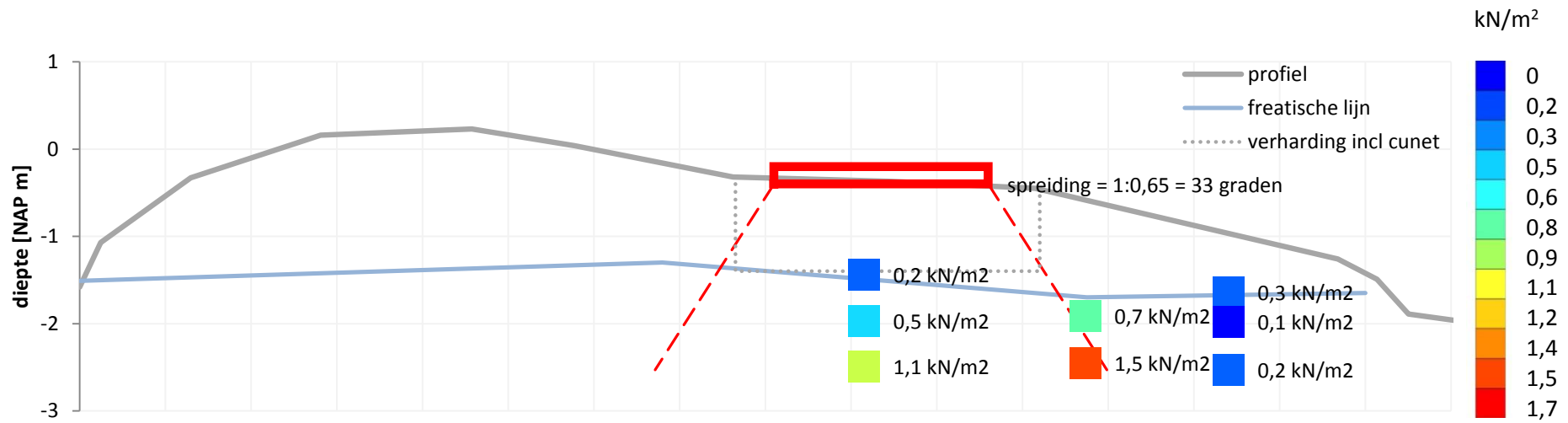
Onderzoekslocatie: Monnickendam (HHNK)

Verkeersbelastingproef statisch - Gemeten wateroverspanningen als % van de bovenbelasting gecorrigeerd o.b.v. spreidingshoek

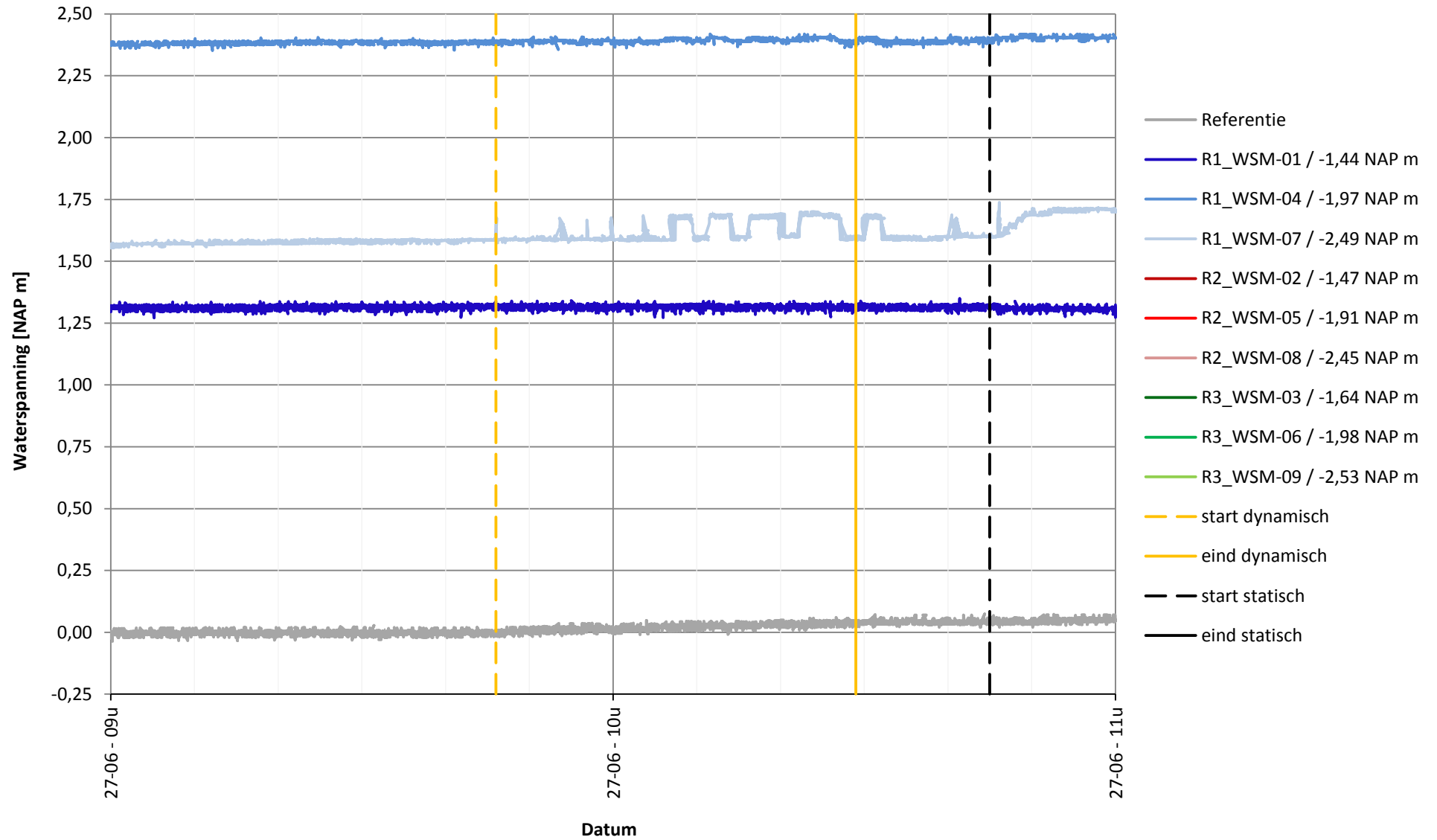


Onderzoekslocatie: Monnickendam (HHNK)

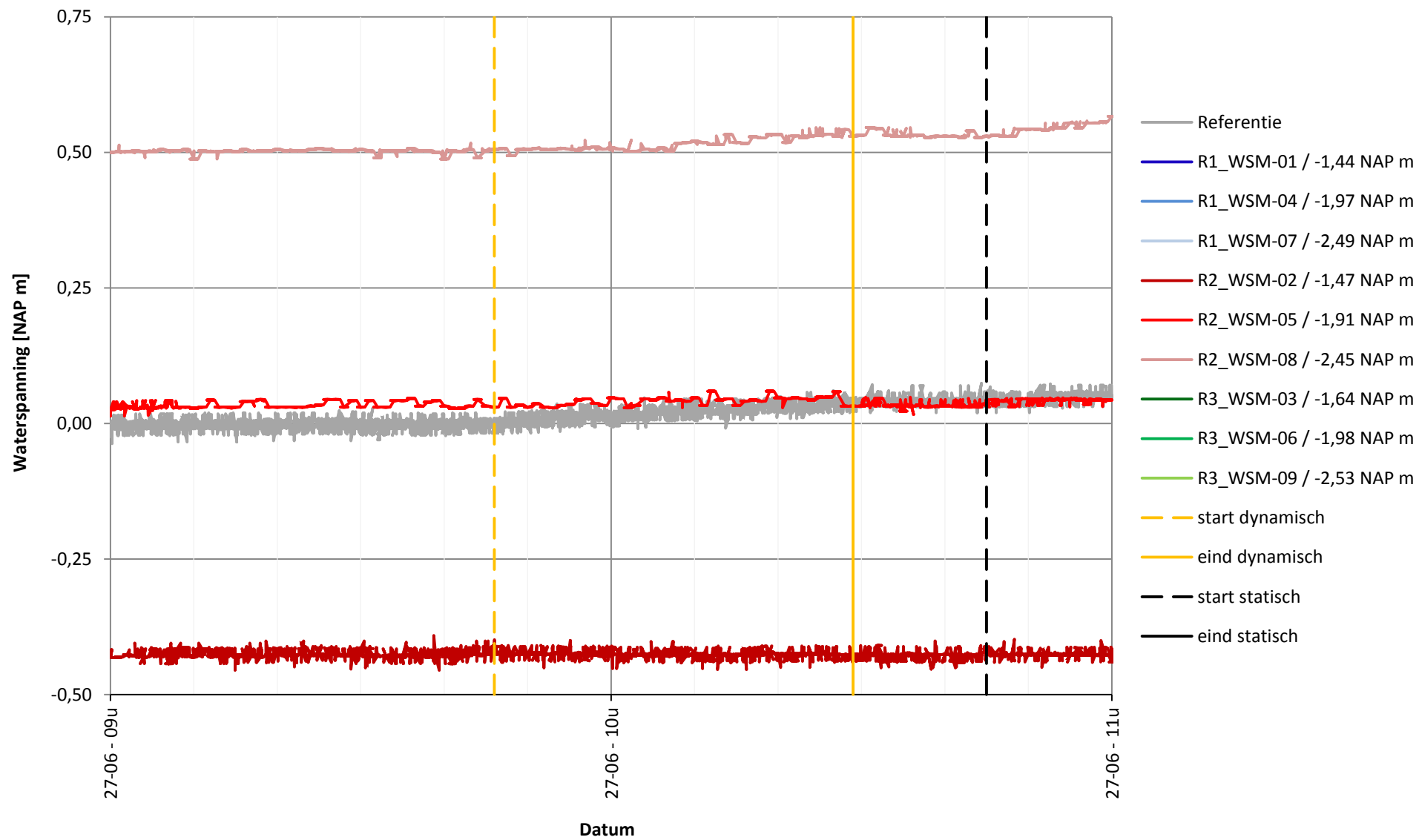
Verkeersbelastingproef statisch - Gemeten wateroverspanningen



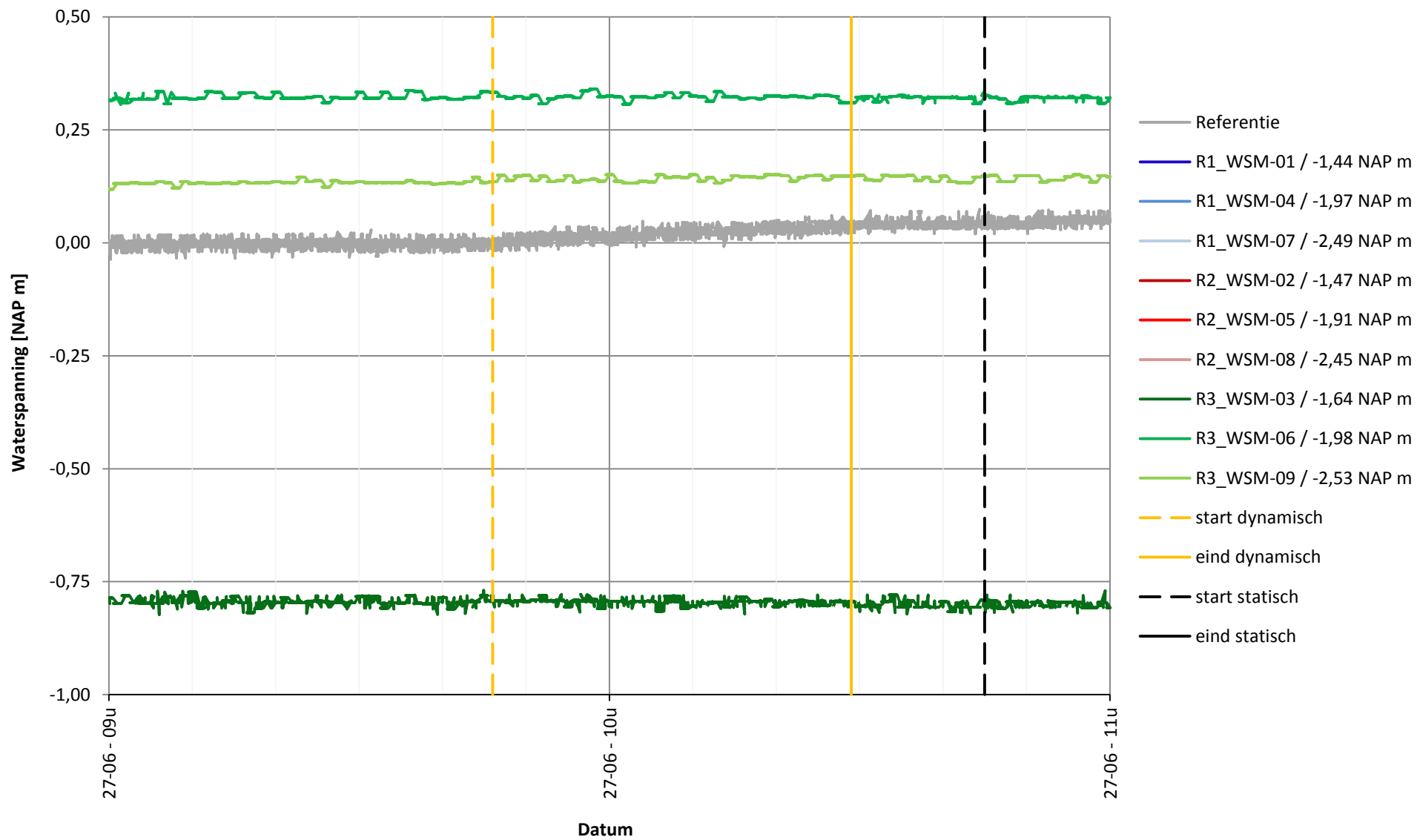
Onderzoekslocatie: Monnickendam (HHNK)



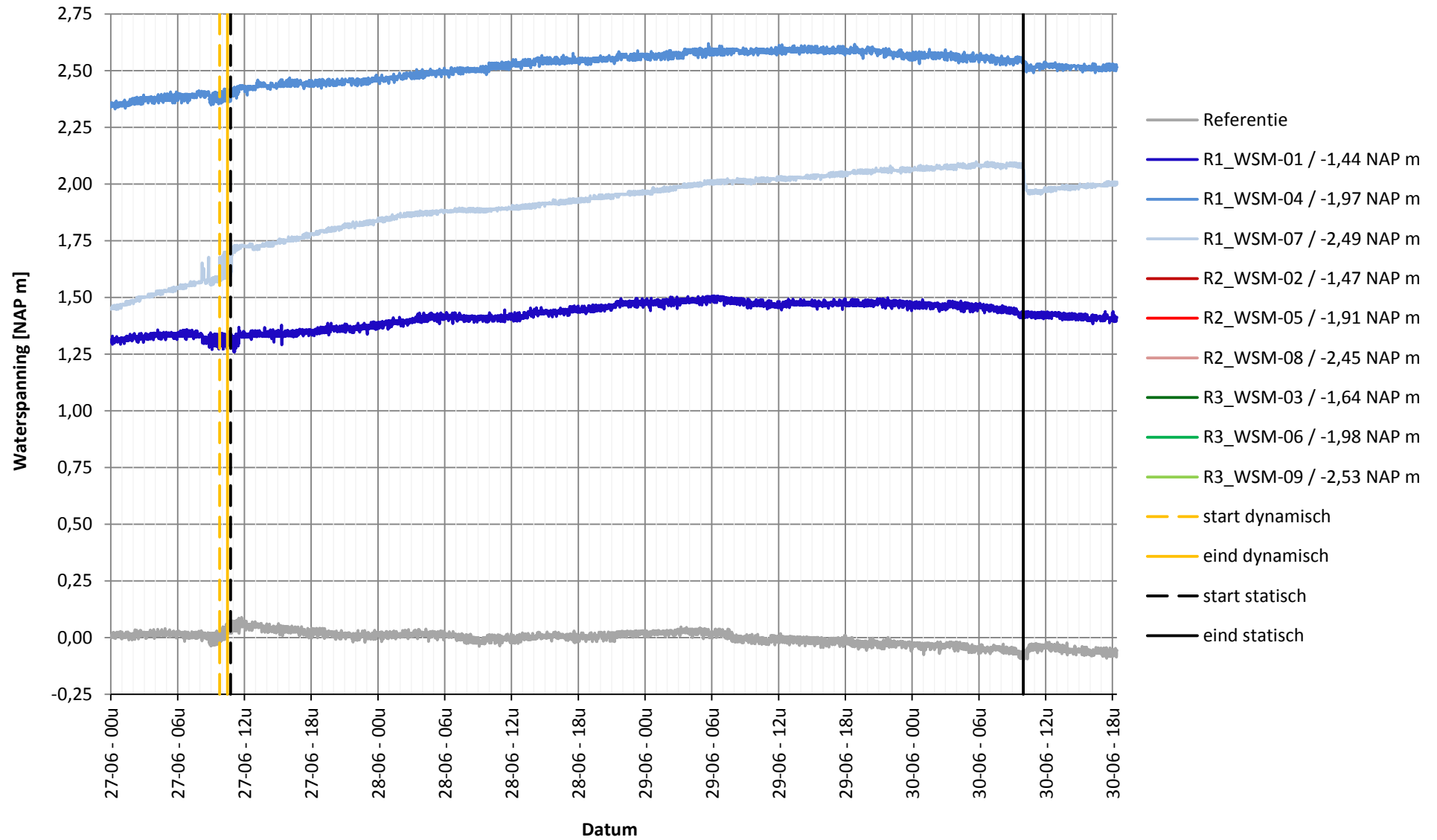
Onderzoekslocatie: Monnickendam (HHNK)



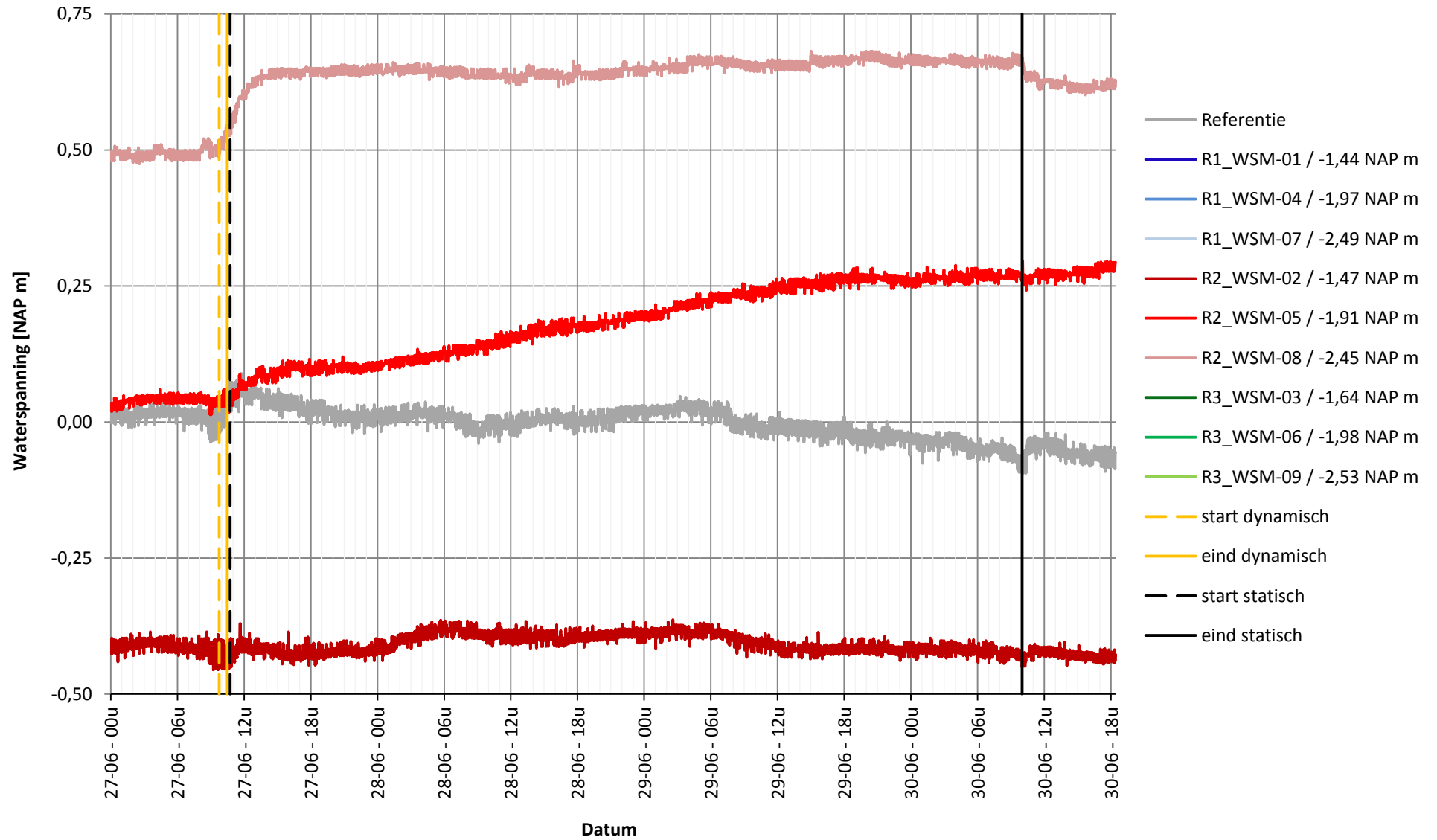
Onderzoekslocatie: Monnickendam (HHNK)



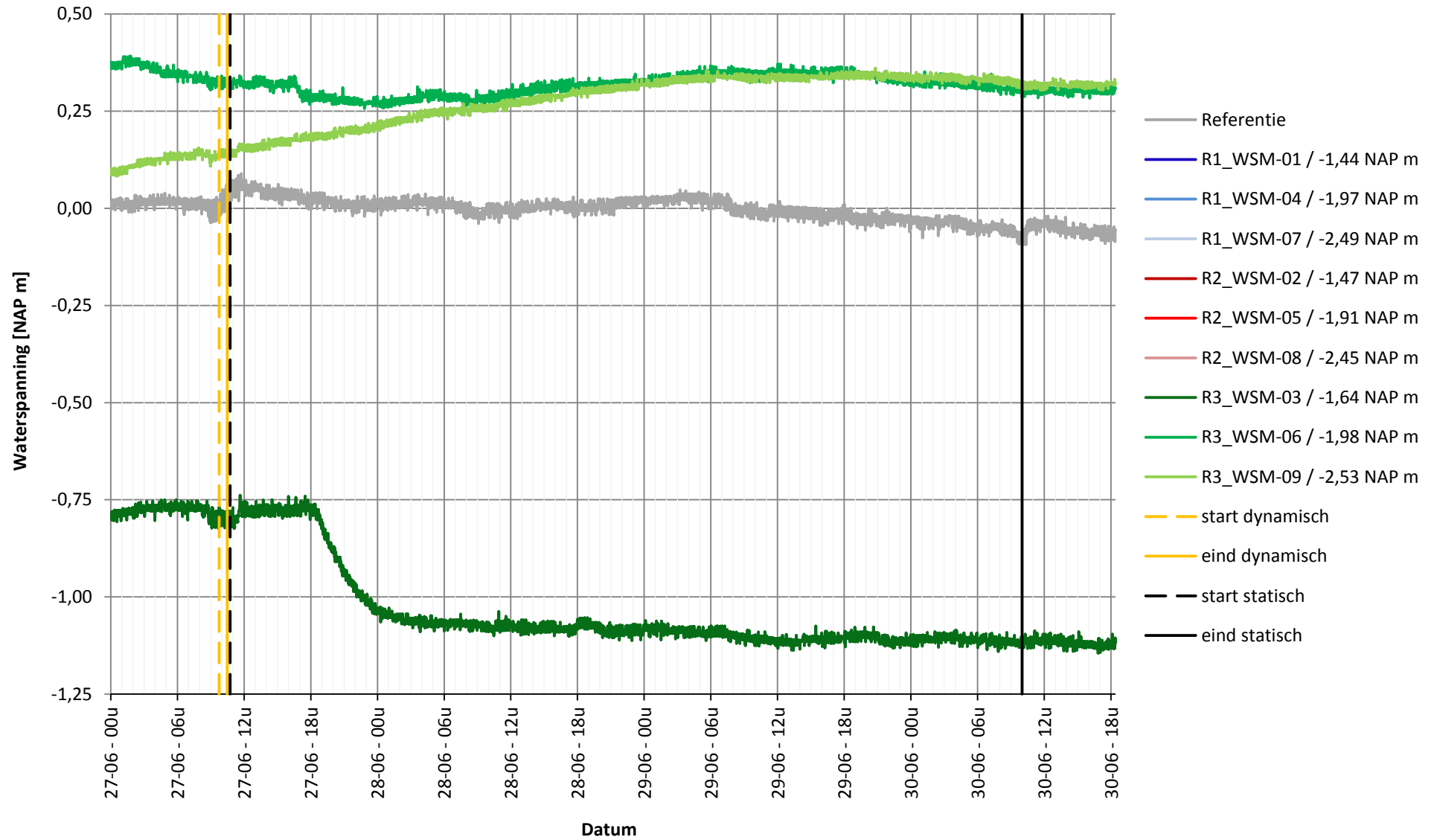
Onderzoekslocatie: Monnickendam (HHNK)



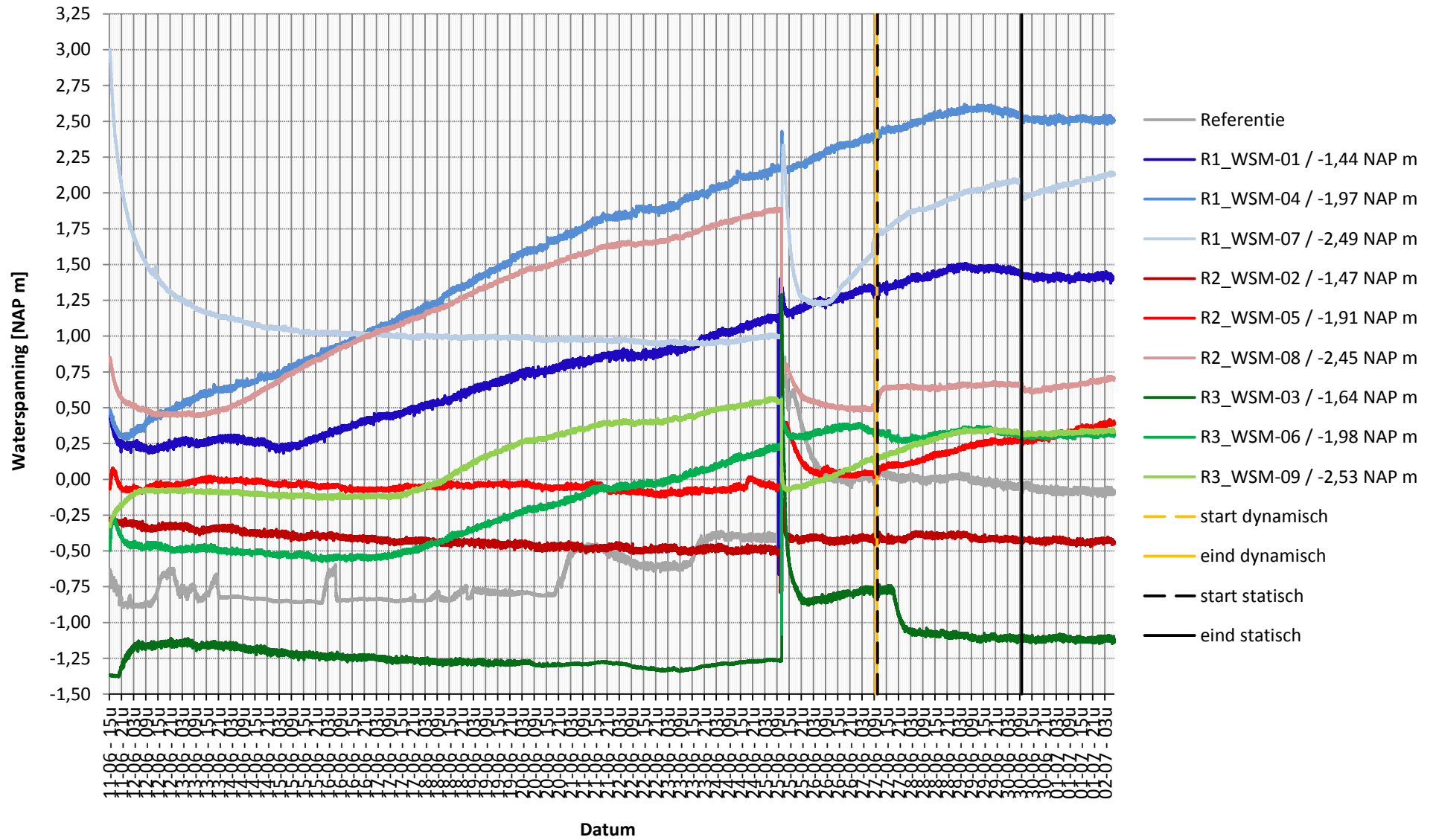
Onderzoekslocatie: Monnickendam (HHNK)



Onderzoekslocatie: Monnickendam (HHNK)



Onderzoekslocatie: Monnickendam (HHNK)



Aanvullende verkeersbelastingproeven 2014

Overzicht resultaten verkeersbelastingproeven

Opgesteld door: L. Kwakman

Datum: 20-10-2014

Onderzoekslocatie	Informatie wegcunet			Bodemopbouw		
	Type	Dikte	Breedte	Kenmerkend	WSM;max	Beschrijving bodemopbouw t.p.v. verkeersbelasting
[-]	[-]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]
Oud Alblas (Rivierenland)	Groen	-	-	Klei op veen	Veen	Klei, siltig humeus tot 2,2 m-mv, veen tot 3,9 m-mv, klei, siltig humeus tot 10 m-mv
Sudwald (Wetterskip)	Groen	-	-	Klei op veen	Veen	Klei, siltig humeus tot 1,5 m-mv, veen tot 3,8 m-mv, klei, zand/grind tot 10 m-mv
Den Hoorn (Delfland)	Halfverharding	0,45	3,10	Klei	Klei	Klei, zandig humeus tot 3,8 m-mv, veen tot 4,8 m-mv, klei, zandig humeus tot 10,0 m-mv
Den Hoorn vrachtwagen statisch (Delfland)	Halfverharding	0,45	3,10	Klei	Klei	Klei, zandig humeus tot 3,8 m-mv, veen tot 4,8 m-mv, klei, zandig humeus tot 10,0 m-mv
Zevenhuizen (Schieland en Krimpenerwaard)	Verharding	2,10	5,00	Veen kleiig	Veen kleiig	Veen, kleiig tot 7,4 m -mv, klei siltig humeus tot 10 m -mv
Monnickendam (Hollands Noorderkwartier)	Verharding	1,00	3,55	Klei op veen	Klei/veen	Klei, siltig humeus tot 2,4 m-mv, veen tot 4,4 m-mv, klei, zandig humeus tot 8,4 m-mv

Aanvullende verkeersbelastingproeven 2014

Overzicht resultaten verkeersbelastingproeven

Opgesteld door: L. Kwakman

Datum: 20-10-2014

Onderzoekslocatie	Statische proef											
	Boven belasting [kN/m ²]	U;max wateroverspanningen Raai 1 Raai 2 Raai 3 [kN/m ²]			Schatting spreidingshoek [1:n]	WOSP (max respons 2D-correctie*1) Raai 1 Raai 2 Raai 3 [%]			Correctie spreiding lengterichting [-]	WOSP (max respons 3D-correctie*2) Raai 1 Raai 2 Raai 3 [%]		
Oud Alblas (Rivierenland)	13,0	2,5	3,9	0,5	1:0,50	42%	63%	8%	1,00	42%	63%	8%
Sudwald (Wetterskip)	13,0	4,8	3,4	0,5	1:0,50	86%	61%	9%	1,00	86%	61%	9%
Den Hoorn (Delfland)	13,0	4,4	1,1	0,0	1:0,35	52%	13%	0%	1,00	52%	13%	0%
Den Hoorn vrachtwagen statisch (Delfland)	23,1	3,0	1,7	0,0	1:0,35	20%	13%	0%	1,00	20%	13%	0%
Zevenhuizen (Schieland en Krimpenerwaard)	13,0	0,6	1,0	0,2	1:0,75	14%	18%	4%	1,50	21%	27%	6%
Monnickendam (Hollands Noorderkwartier)	13,0	1,1	1,5	0,3	1:0,65	18%	24%	4%	1,35	24%	32%	5%

*1. Gemeten maximale waterspanningen per raai als % van de bovenbelasting gecorrigeerd o.b.v. de waargenomen spreidingshoek in de dwarsrichting. Conform rekenwijze D-geostability.

*2. Gemeten maximale waterspanningen per raai als % van de bovenbelasting gecorrigeerd o.b.v. de waargenomen spreidingshoek in de dwarsrichting en de lengterichting als gevolg van stijve verharding o.b.v. Plaxis 3D berekening

Aanvullende verkeersbelastingproeven 2014

Overzicht resultaten verkeersbelastingproeven

Opgesteld door: L. Kwakman

Datum: 20-10-2014

Onderzoekslocatie	Dynamische proef (max 60 seconden aaneengesloten belasten)											
	Boven belasting [kN/m ²]	U;max wateroverspanningen Raai 1 Raai 2 Raai 3 [kN/m ²] [kN/m ²] [kN/m ²]			Schatting spreidingshoek [1:n]	WOSP (max respons 2D-correctie*1) Raai 1 Raai 2 Raai 3 [%] [%] [%]			Correctie spreiding lengterichting [-]	WOSP (max respons 3D-correctie*2) Raai 1 Raai 2 Raai 3 [%] [%] [%]		
Oud Alblas (Rivierenland)	29,5	6,0	6,0	5,8	1:0,75	61%	61%	60%	1,00	61%	61%	60%
Sudwald (Wetterskip)	13,1 *3	2,7	1,3	0,0	1:0,50	48%	23%	0%	1,00	48%	23%	0%
Den Hoorn (Delfland)	29,5	5,9	2,5	0,0	1:0,35	31%	13%	0%	1,00	31%	13%	0%
Den Hoorn vrachtwagen statisch (Delfland)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zevenhuizen (Schieland en Krimpenerwaard)	29,5	0,7	1,5	0,1	1:0,75	7%	12%	1%	1,50	11%	18%	2%
Monnickendam (Hollands Noorderkwartier)	22,9	1,0	0,0	0,0	1:0,50	8%	0%	0%	1,35	11%	0%	0%

*3. Op de locatie Sudwald is de dynamische proef uitgevoerd met een lege vrachtwagen. Na het vastlopen van de lege vrachtwagen is ook nog een dynamische proef uitgevoerd over een betonpad op korte afstand van de meetopstelling, tijdens deze proef zijn geen wateroverspanningen gemeten.

Heranalyse verkeersbelastingproeven regionale keringen 2010-2013

Overzicht resultaten verkeersbelastingproeven

Opgesteld door: L. Kwakman

Datum: 20-10-2014

Onderzoekslocatie	Informatie wegcunet			Bodemopbouw		
	Type	Dikte	Breedte	Kenmerkend	WSM;max	Beschrijving bodemopbouw t.p.v. verkeersbelasting
[-]	[-]	[m]	[m]	[-]	[-]	[-]
<i>Oude proeven 2010-2013</i>						
Westzanerpolder (HHNK)	Verharding	0,50		Klei op veen	Veen	klei, zandig, sterk humeus tot ca 2,2 m -mv, veen tot ca 4,5 m -mv
Starnmeerpolder (HHNK)	Verharding	1,10		Klei humeus	Klei/veen	klei, humeus met veenlagen tot ca 3 m -mv, klei tot ca 3,6 m - mv, veen tot ca 5 m -mv
Beetskoog (HHNK)	Verharding	1,00		Klei op veen	Klei/veen	klei, zandig, sterk humeus tot ca 2,3 m -mv, veen tot ca 4 m -mv
<i>Wassenaasche polder (Rijnland)</i>						
Reeuwijk (Rijnland)	Verharding	1,00		Veen op klei	Veen	veen tot ca 4 m -mv, klei tot ca 9 m -mv (n.v.t. voor proef)
Groot Ammers (RivierenInd)	Verharding	1,00		Veen	Veen	veen tot ca 9 m -mv, -
Groot Ammers (RivierenInd)	Verharding	1,00		Klei op veen	-	zand tot ca 1 m -mv, klei tot 2 a 2,5, veen tot ca -6 m -mv
Witmarsum (Fryslan)	Verharding	1,30		Klei op veen	-	zand tot ca 1 m -mv, klei tot 2 a 2,5, veen tot ca -6 m -mv
Gemeenschapspolder (Waternet)	Verharding	2,60		Klei	Klei	klei, klei
Gemeenschapspolder (Waternet)	Verharding	2,60		Zand/klei op veen	Veen	zand tot ca 2,6 m -mv, klei tot ca 3,2 m -mv, zand tot ca 4,5 m -mv, veen tot ca 9 m-mv
Gemeenschapspolder (Waternet)	Verharding	2,60		Zand/klei op veen	Veen	zand tot ca 2,6 m -mv, klei tot ca 3,2 m -mv, zand tot ca 4,5 m -mv, veen tot ca 9 m-mv

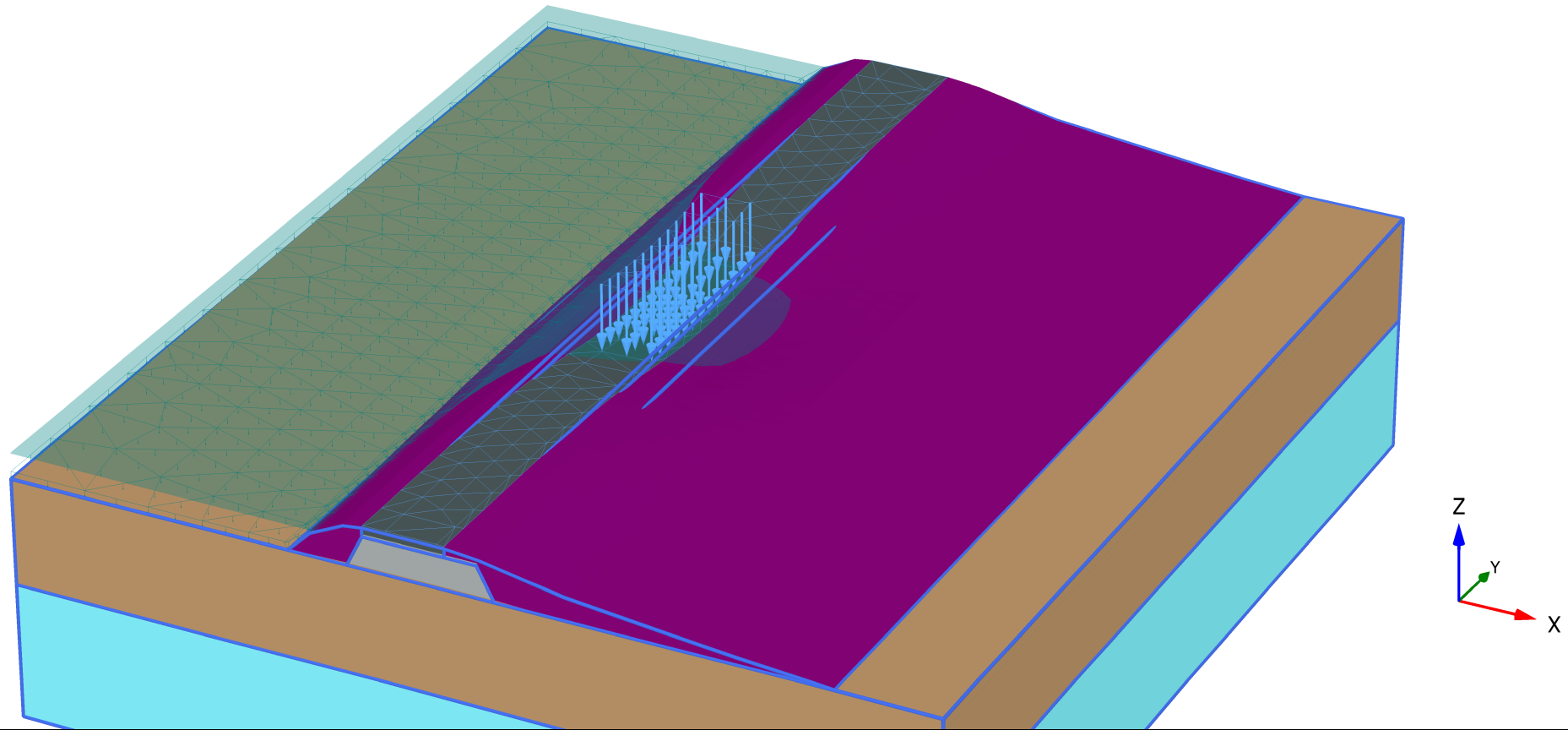
Heranalyse verkeersbelastingproev

Overzicht resultaten verkeersbelasti

Opgesteld door: L. Kwakman

Datum: 20-10-2014

Onderzoekslocatie	Statische proef									
	Boven belasting [kN/m ²]	Breedte [m]	U;max wosp Raai 1 [kN/m ²]	Schatting spreiding weg [m]	Schatting spreiding [1:n]	WOSP (max 2D) [%]	Correctie 3D*2 [-]	WOSP (max 3D) Raai 1 [%]		
<i>Oude proeven 2010-2013</i>										
Westzanerpolder (HHNK)	26,2	1,8	3,0	1,9	1:0,35	29%	1,20	35%	-	-
Starnmeerpolder (HHNK)	26,3	1,0	4,4	1,3	1:0,25	40%	1,35	54%	-	-
Beetskoog (HHNK)	26,3	1,0	2,0	2,0	1:0,35	30%	1,35	40%	-	-
Wassenaasche polder (Rijnland)	14,1	1,6	4,6	1,6	1:0,35	85%	1,00	85%	-	-
Reeuwijk (Rijnland)	9,4	1,6	1,6	2,5	1:0,35	30%	1,35	41%	-	-
Groot Ammers (RivierenInd)	23,5	2,5	3,8	3,5	1:0,35	32%	1,35	43%	-	-
Groot Ammers (RivierenInd)	23,5	2,5	2,8	3,5	1:0,35	23%	1,35	32%	-	-
Witmarsum (Fryslan)	23,5	2,5	2,5	5,0	1:0,35	25%	1,35	34%	-	-
Gemeenschapspolder (Waternet)	10,0	1,0	0,8	2,0	1:0,35	26%	1,50	39%	-	-
Gemeenschapspolder (Waternet)	19,0	2,5	1,5	5,0	1:0,35	26%	1,50	39%	-	-



Deformed mesh |u| (scaled up 500 times)

Maximum value = $2,710 \cdot 10^{-3}$ m (at Node 10190)

PLAXIS

Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Basissom 3D

Date

2-9-2014

Project filename

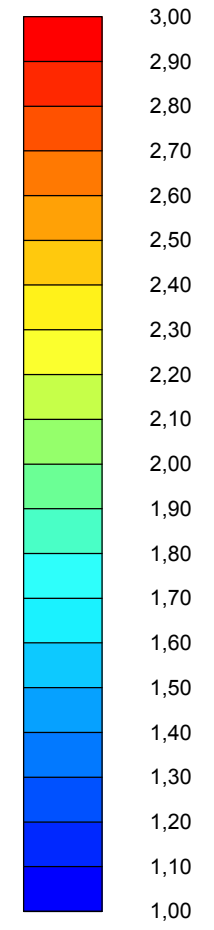
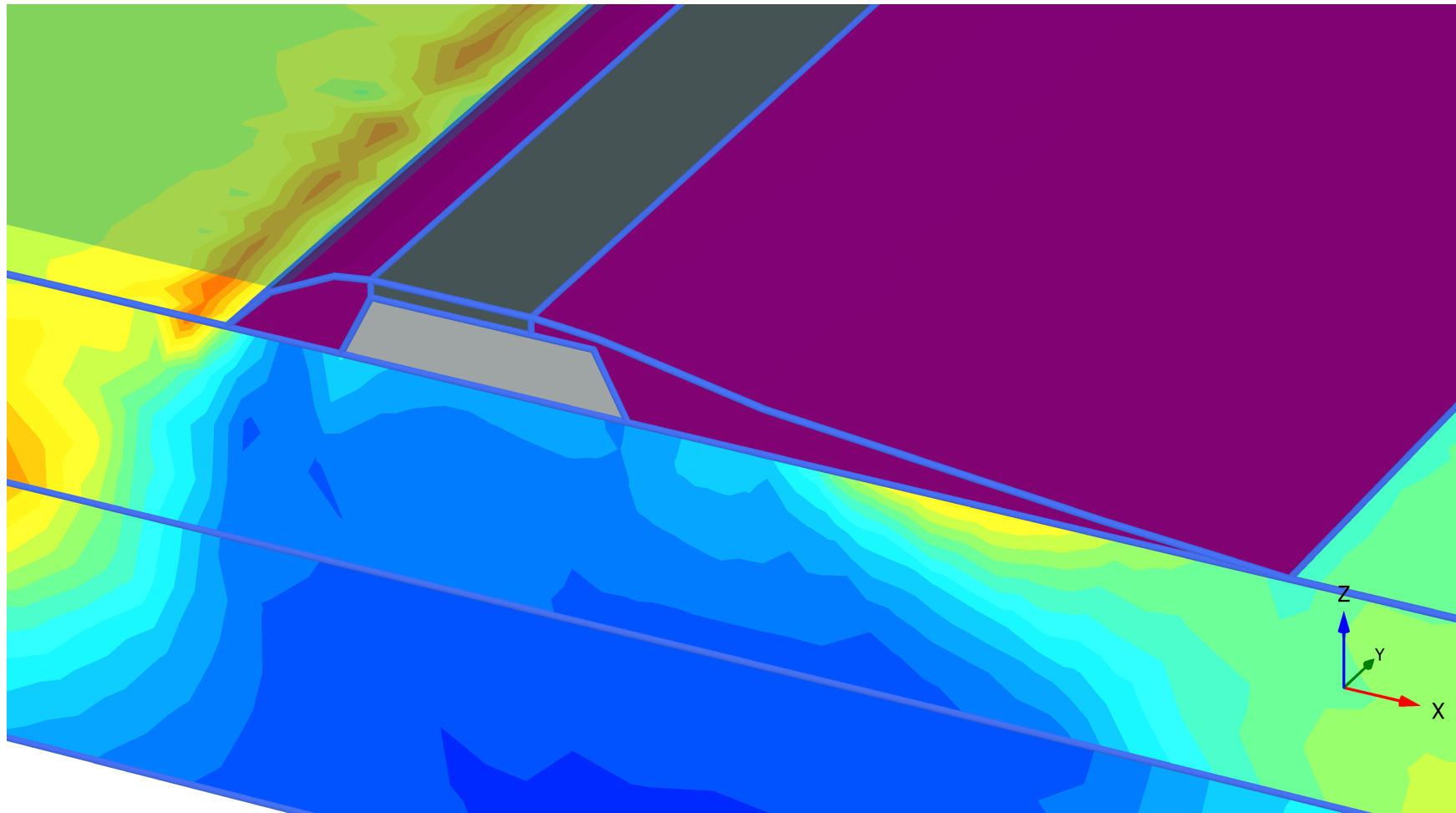
verkeersbelasting zevenh ...

Step

6

User name

ARCADIS Nederland BV



Isotropic overconsolidation ratio

Maximum value = 2,934 (Element 11341 at Node 18045)

Minimum value = 1,144 (Element 12101 at Node 7364)



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Basissom

Date

2-9-2014

Project filename

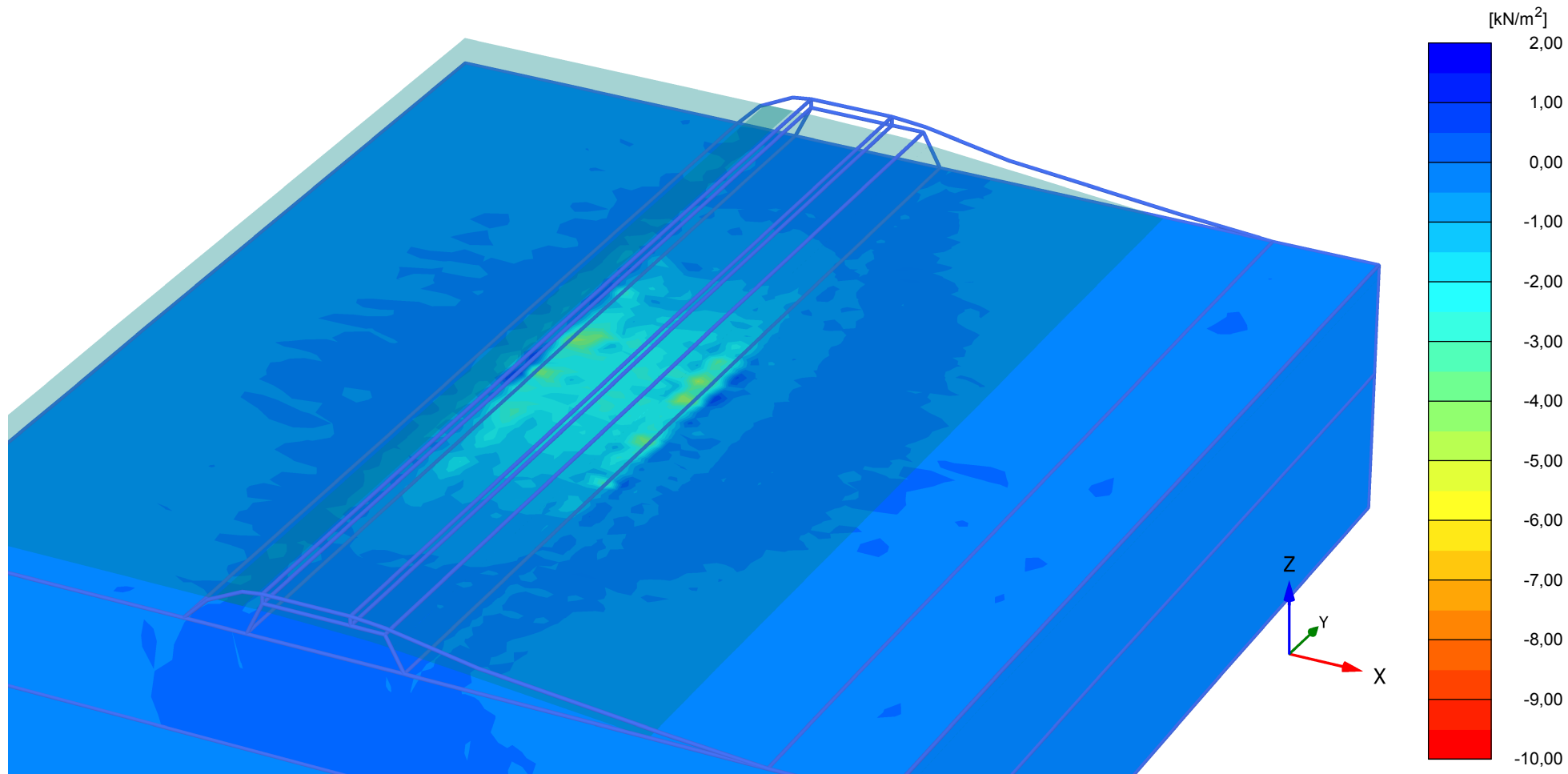
verkeersbelasting zevenh ...

Step

15

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 2,685 kN/m² (Element 3980 at Node 9136)

Minimum value = -5,163 kN/m² (Element 9130 at Node 11547)



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Basissom 3D

Date

2-9-2014

Project filename

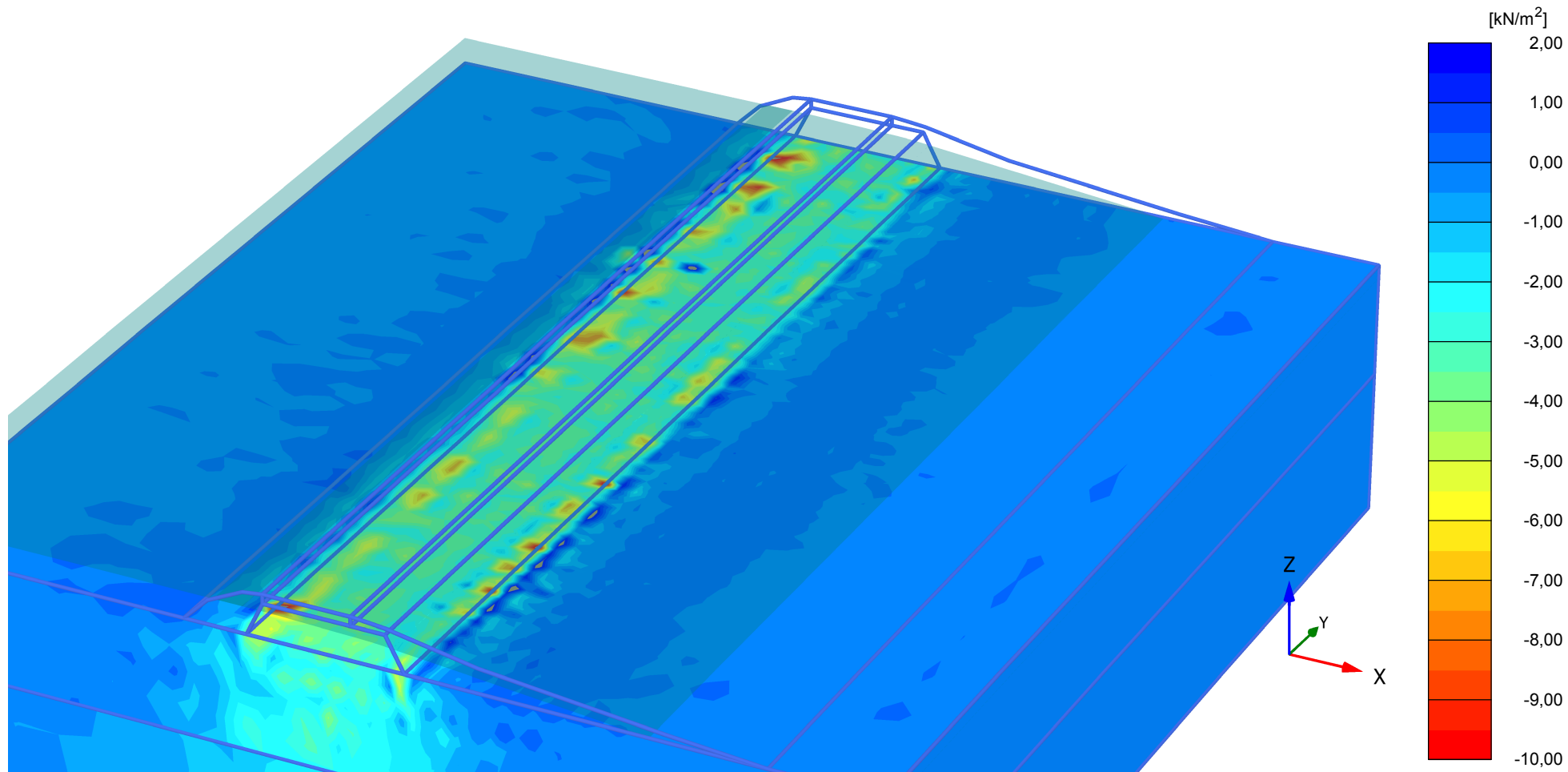
verkeersbelasting zevenh ...

Step

6

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 6,641 kN/m² (Element 3983 at Node 14452)

Minimum value = -11,87 kN/m² (Element 3760 at Node 957)

PLAXIS

Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Basissom 2D

Date

2-9-2014

Project filename

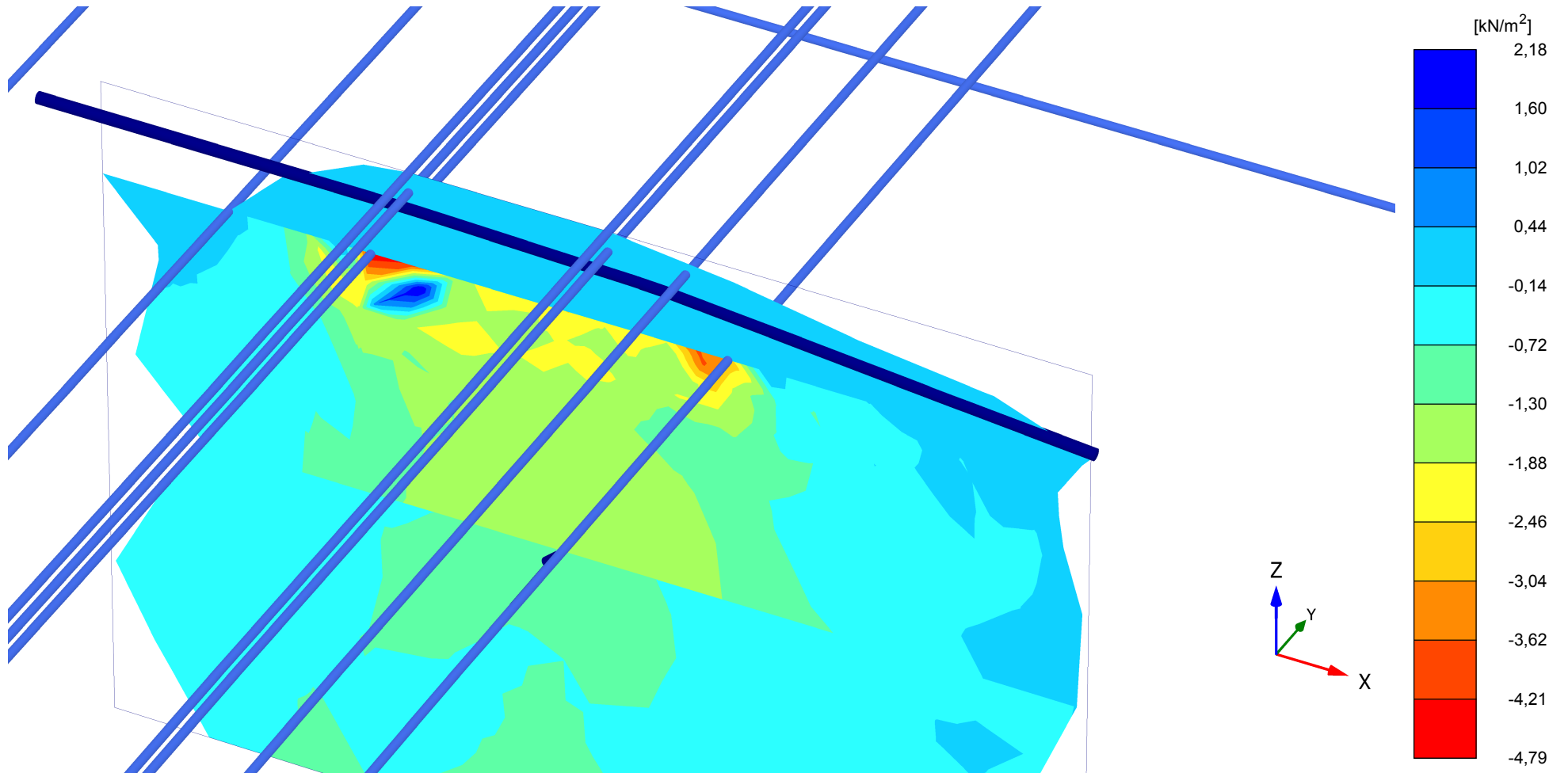
verkeersbelasting zevenh ...

Step

15

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 2,176 kN/m²

Minimum value = -4,785 kN/m²

Equivalent force is -128,8 kN at position (5,555, 24,999, -7,659) m



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Basissom 3D

Date

2-9-2014

Project filename

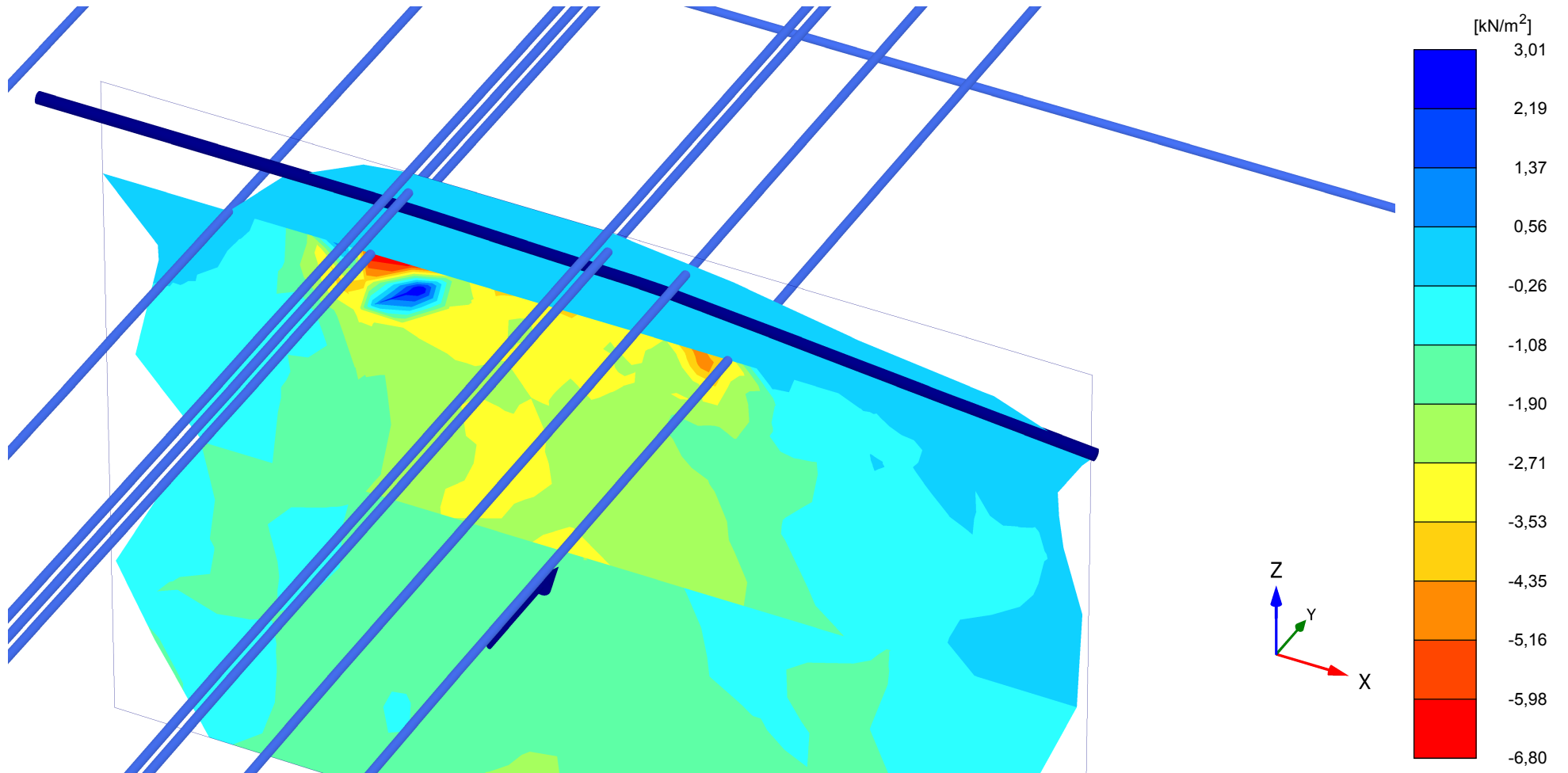
verkeersbelasting zevenh ...

Step

6

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 3,008 kN/m²

Minimum value = -6,798 kN/m²

Equivalent force is -236,1 kN at position (5,519, 24,999, -8,076) m



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Basissom 2D

Date

2-9-2014

Project filename

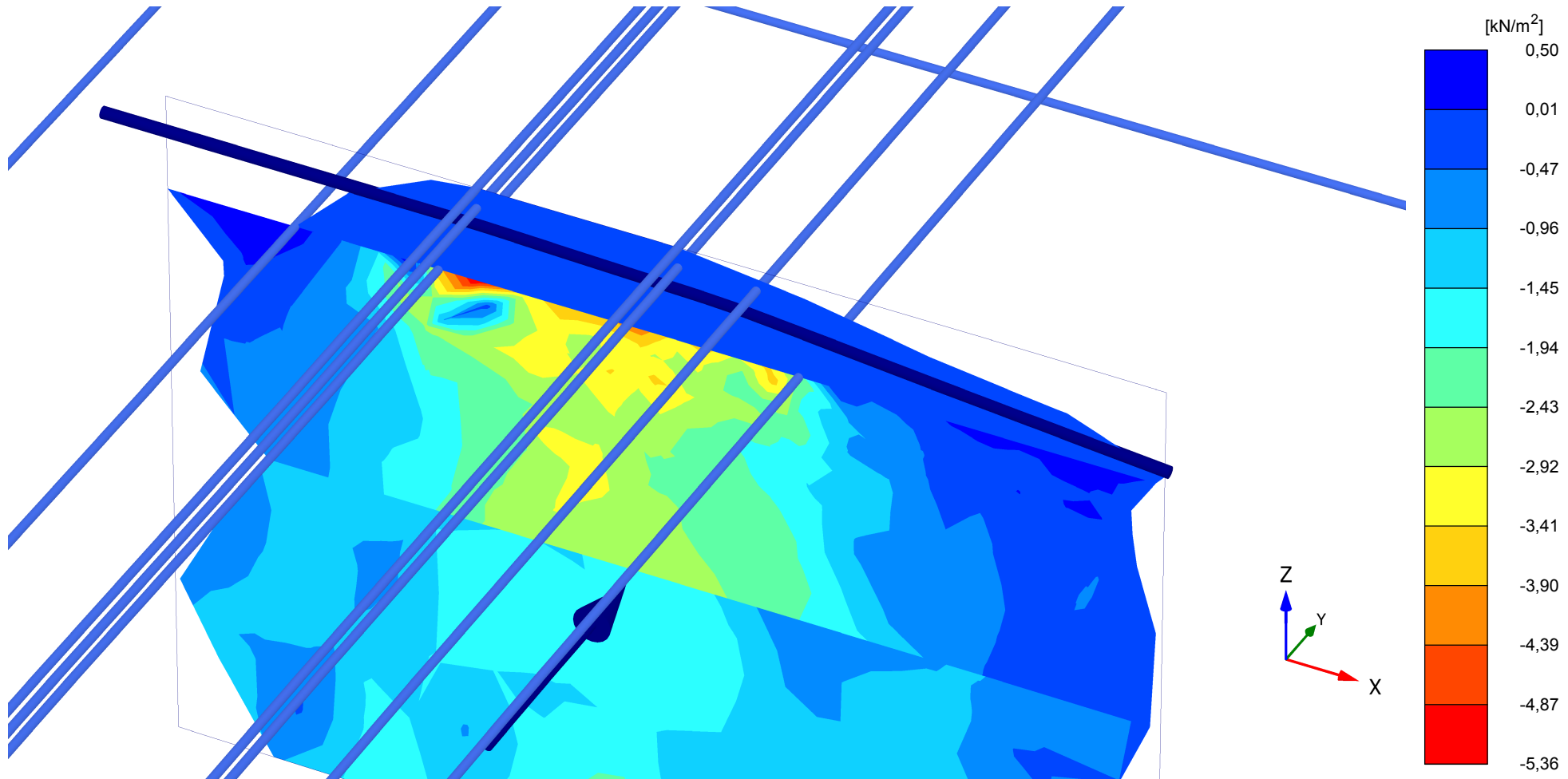
verkeersbelasting zevenh ...

Step

15

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 0,5028 kN/m²

Minimum value = -5,364 kN/m²

Equivalent force is -234,3 kN at position (5,497, 24,999, -8,083) m



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Fundering 0,25E - 2d- ...

Date

2-9-2014

Project filename

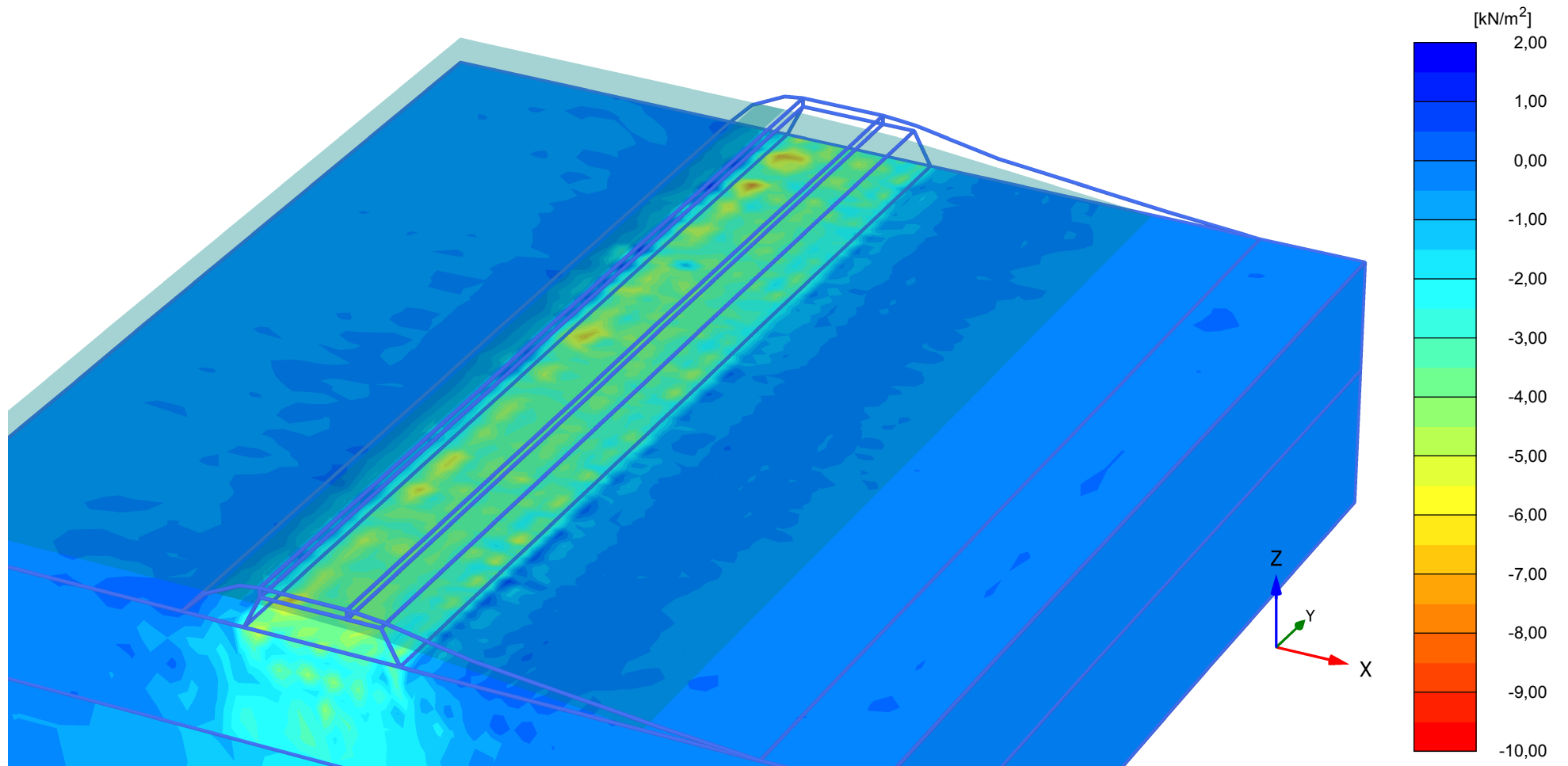
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

15

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 2,139 kN/m² (Element 3983 at Node 14452)

Minimum value = -8,244 kN/m² (Element 3875 at Node 17278)



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Fundering 0,25E - 2d- ...

Date

2-9-2014

Project filename

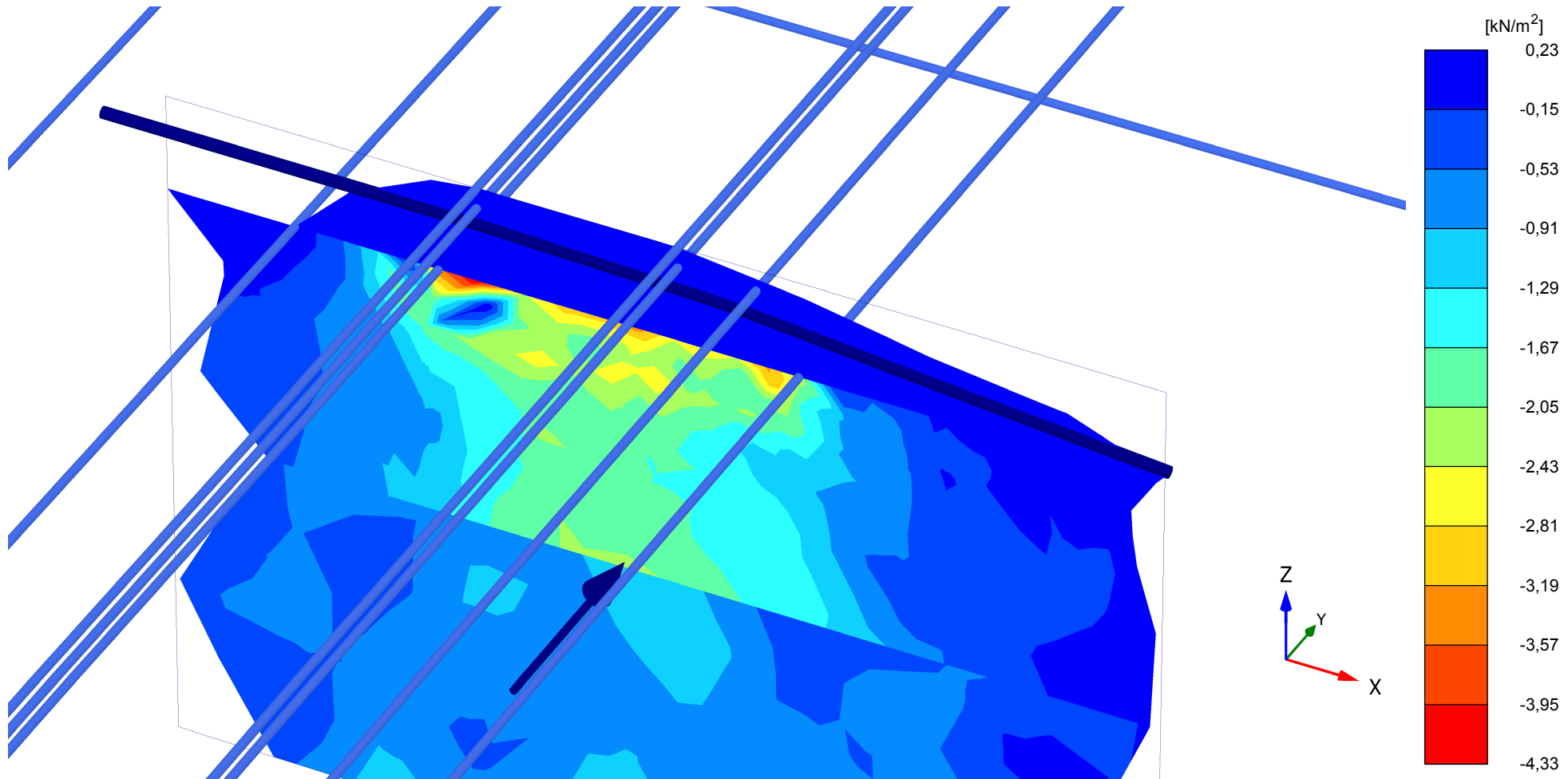
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

15

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 0,2279 kN/m²

Minimum value = -4,326 kN/m²

Equivalent force is -143,2 kN at position (5,473, 24,999, -7,576) m



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Fundering 0,25E - 3d- ...

Date

2-9-2014

Project filename

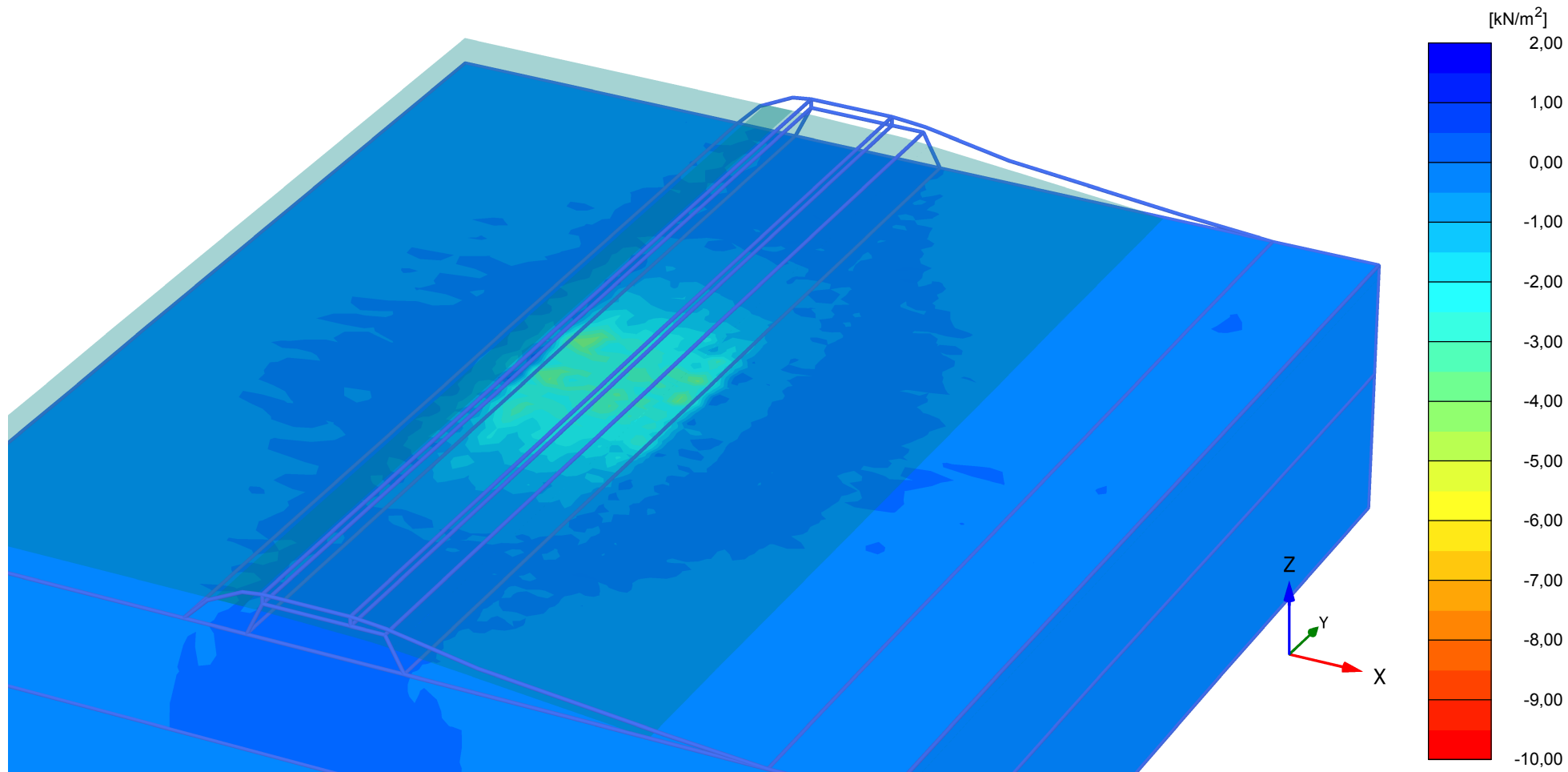
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

6

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 0,7584 kN/m² (Element 3775 at Node 11640)

Minimum value = -4,413 kN/m² (Element 4208 at Node 11568)

PLAXIS

Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Fundering 0,25E - 3d- ...

Date

2-9-2014

Project filename

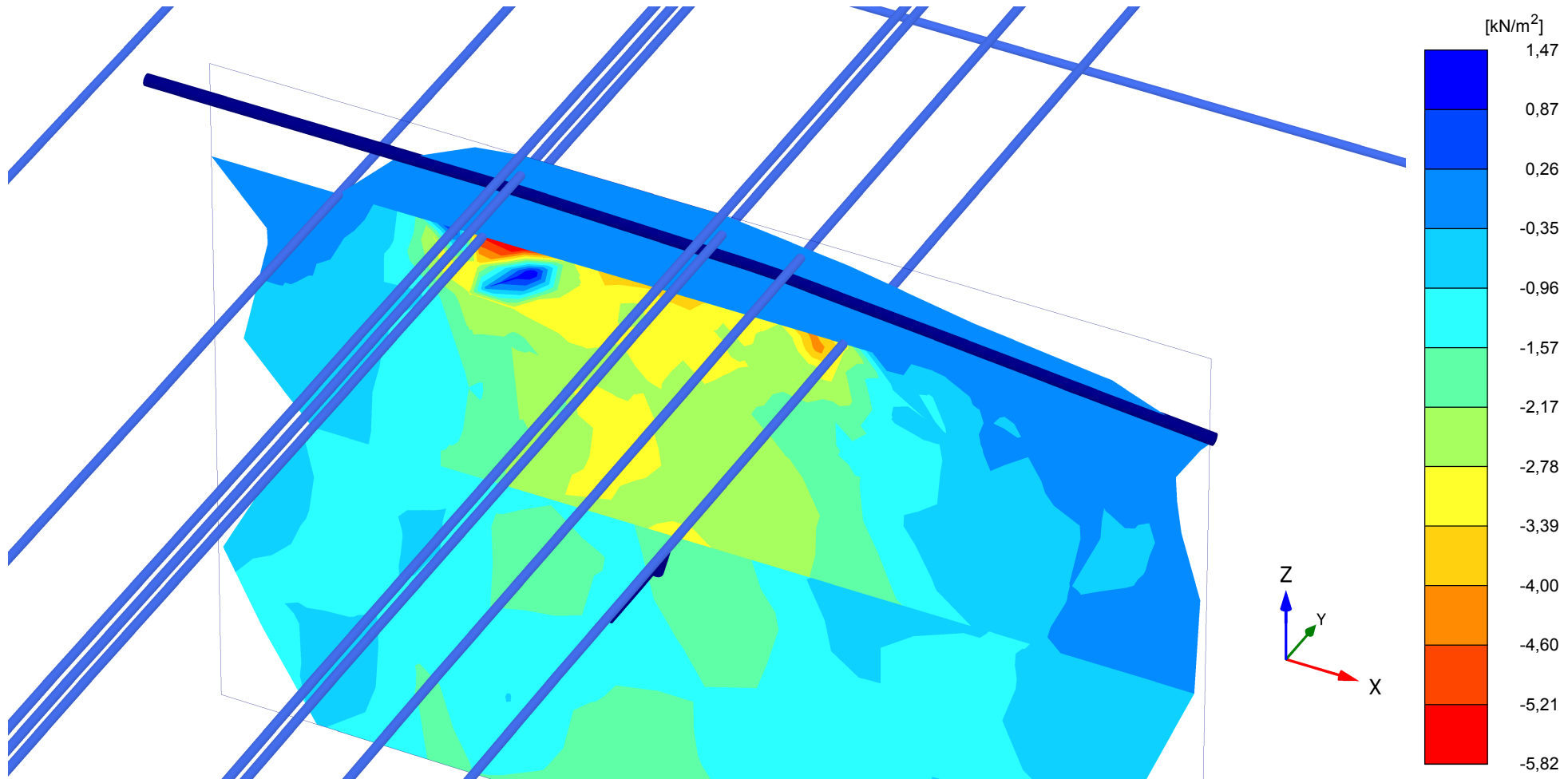
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

6

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 1,474 kN/m²

Minimum value = -5,820 kN/m²

Equivalent force is -235,4 kN at position (5,510, 24,999, -8,079) m



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Fundering 0,5E - 2d-b ...

Date

2-9-2014

Project filename

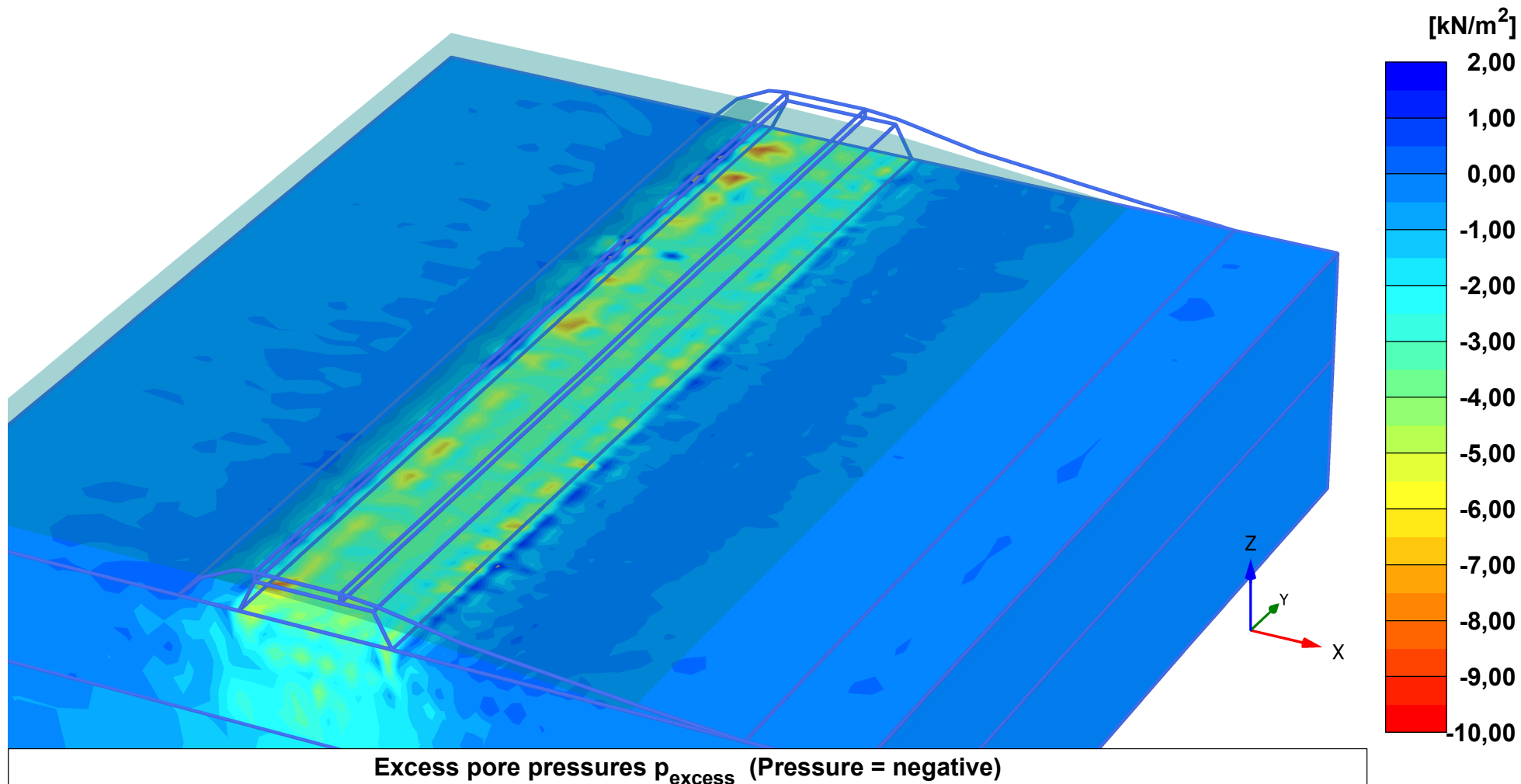
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

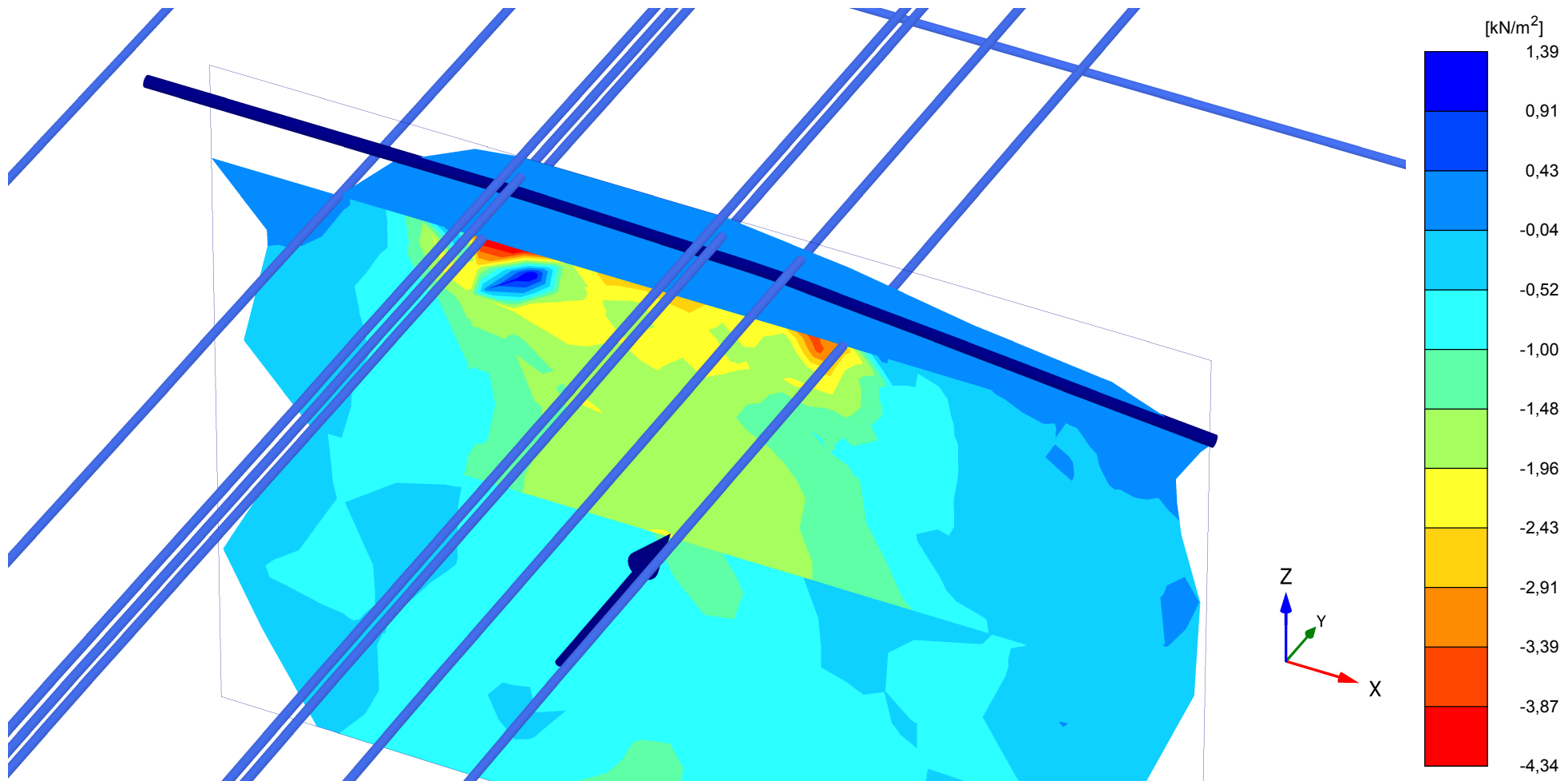
15

User name

ARCADIS Nederland BV



<i>Project description</i>		<i>Date</i>	
Verkeersbelasting Zevenhuizen Fundering 0,5E - 2d-b ...		2-9-2014	
<i>Project filename</i>	<i>Step</i>	<i>User name</i>	
Verkeersbelasting Zeven ...	15	ARCADIS Nederland BV	



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 1,389 kN/m²

Minimum value = -4,345 kN/m²

Equivalent force is -137,0 kN at position (5,515, 24,999, -7,615) m



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Fundering 0,5E - 3d-b ...

Date

2-9-2014

Project filename

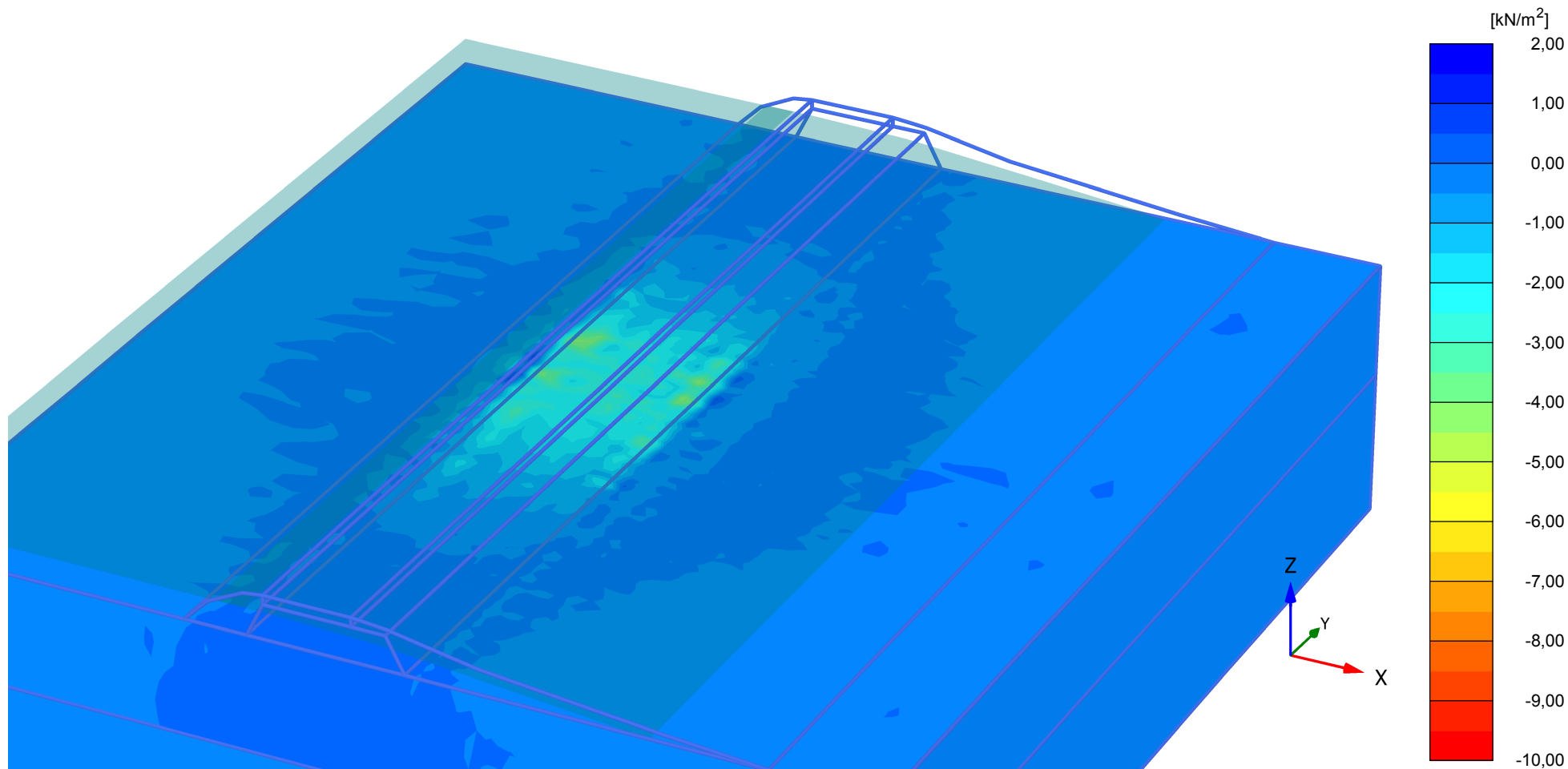
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

6

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 1,862 kN/m² (Element 3980 at Node 9136)

Minimum value = -4,819 kN/m² (Element 9130 at Node 11547)



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Fundering 0,5E - 3d-b ...

Date

2-9-2014

Project filename

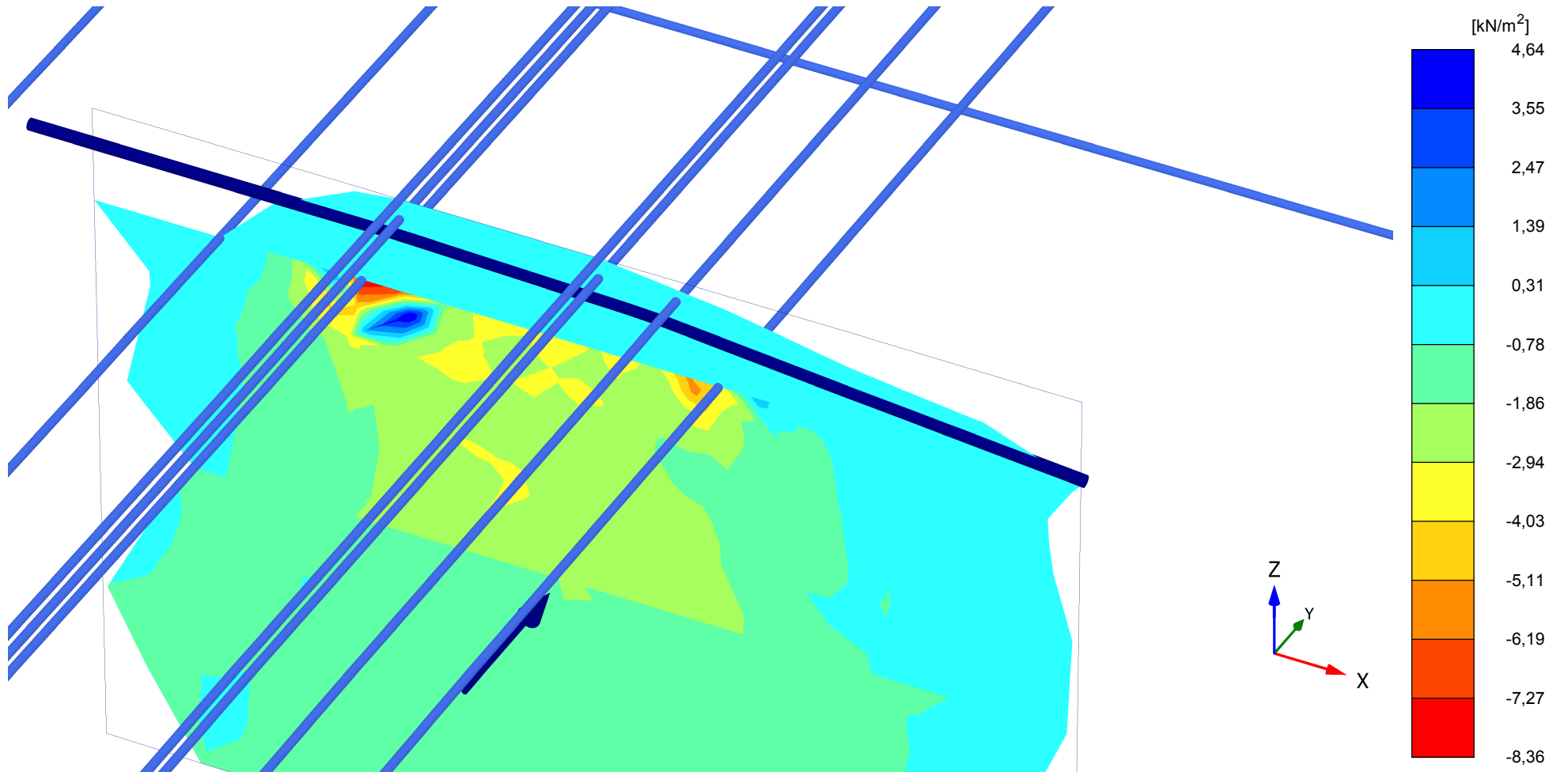
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

6

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 4,638 kN/m²

Minimum value = -8,358 kN/m²

Equivalent force is -236,7 kN at position (5,530, 24,999, -8,073) m



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Fundering 4E - 2d-bel ...

Date

2-9-2014

Project filename

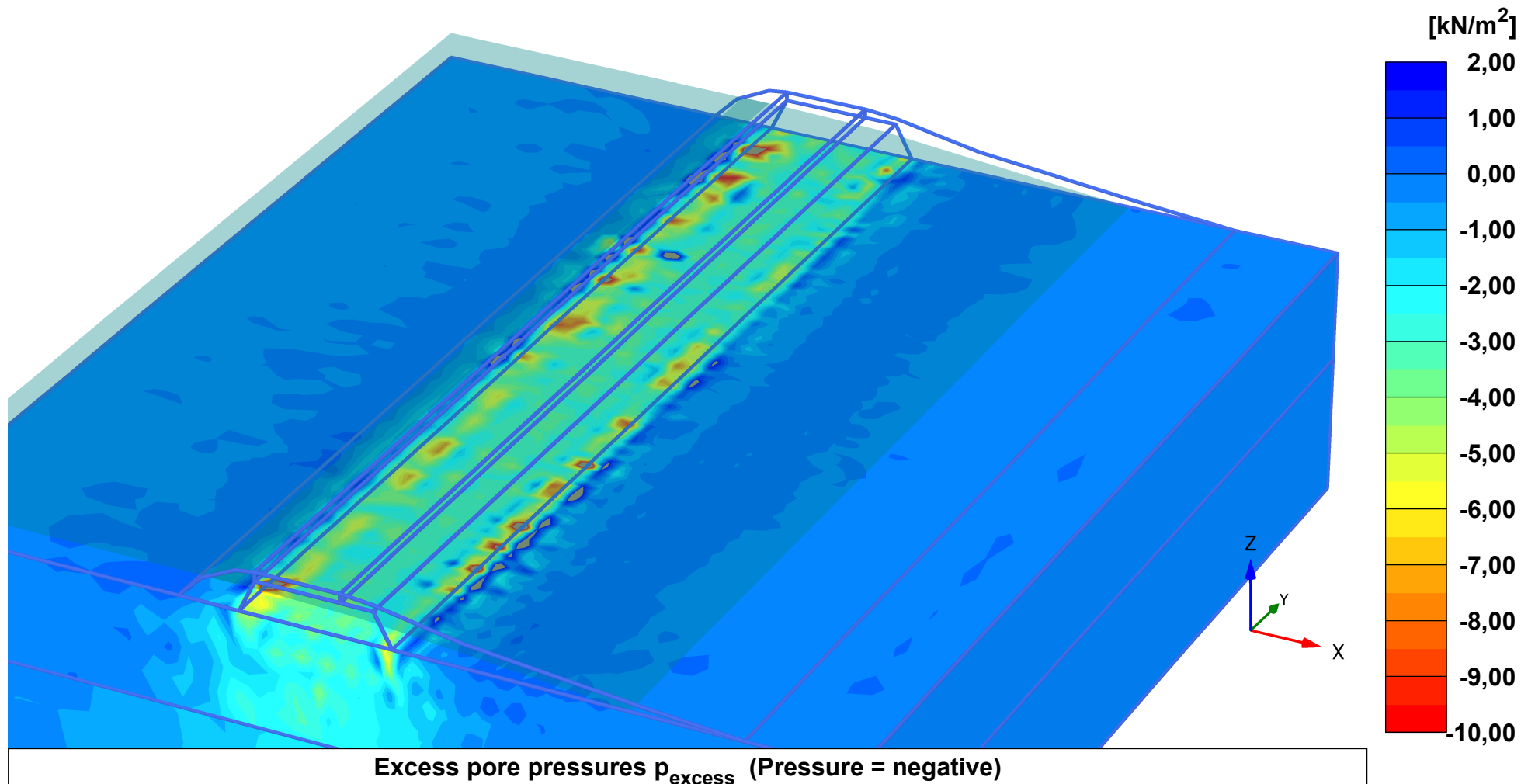
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

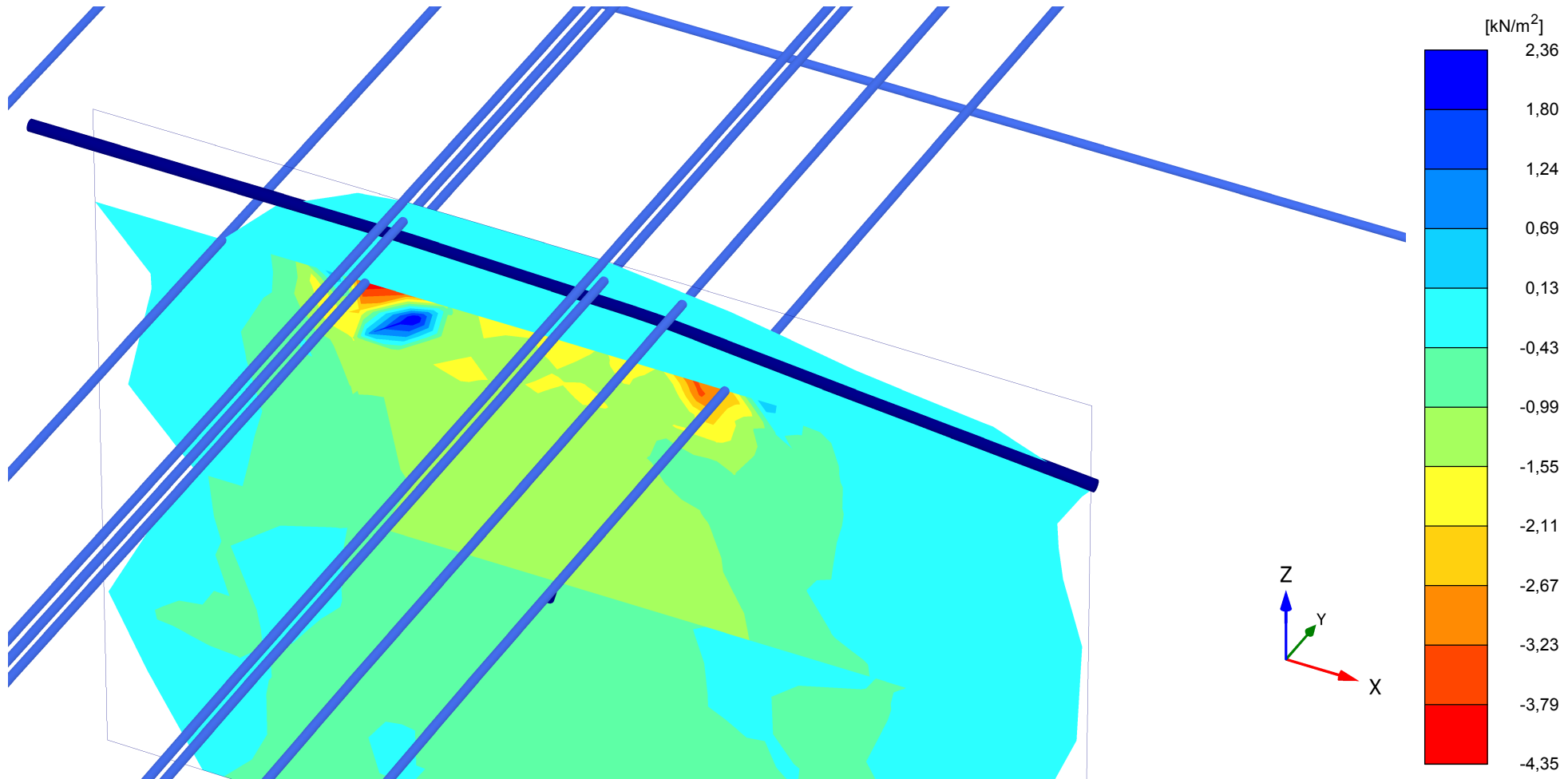
15

User name

ARCADIS Nederland BV



<i>Project description</i>		<i>Date</i>	
Verkeersbelasting Zevenhuizen Fundering 4E - 2d-bel ...		2-9-2014	
<i>Project filename</i>	<i>Step</i>	<i>User name</i>	
Verkeersbelasting Zeven ...	15	ARCADIS Nederland BV	



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 2,364 kN/m²

Minimum value = -4,352 kN/m²

Equivalent force is -107,7 kN at position (5,614, 24,999, -7,753) m



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Fundering 4E - 3d-bel ...

Date

2-9-2014

Project filename

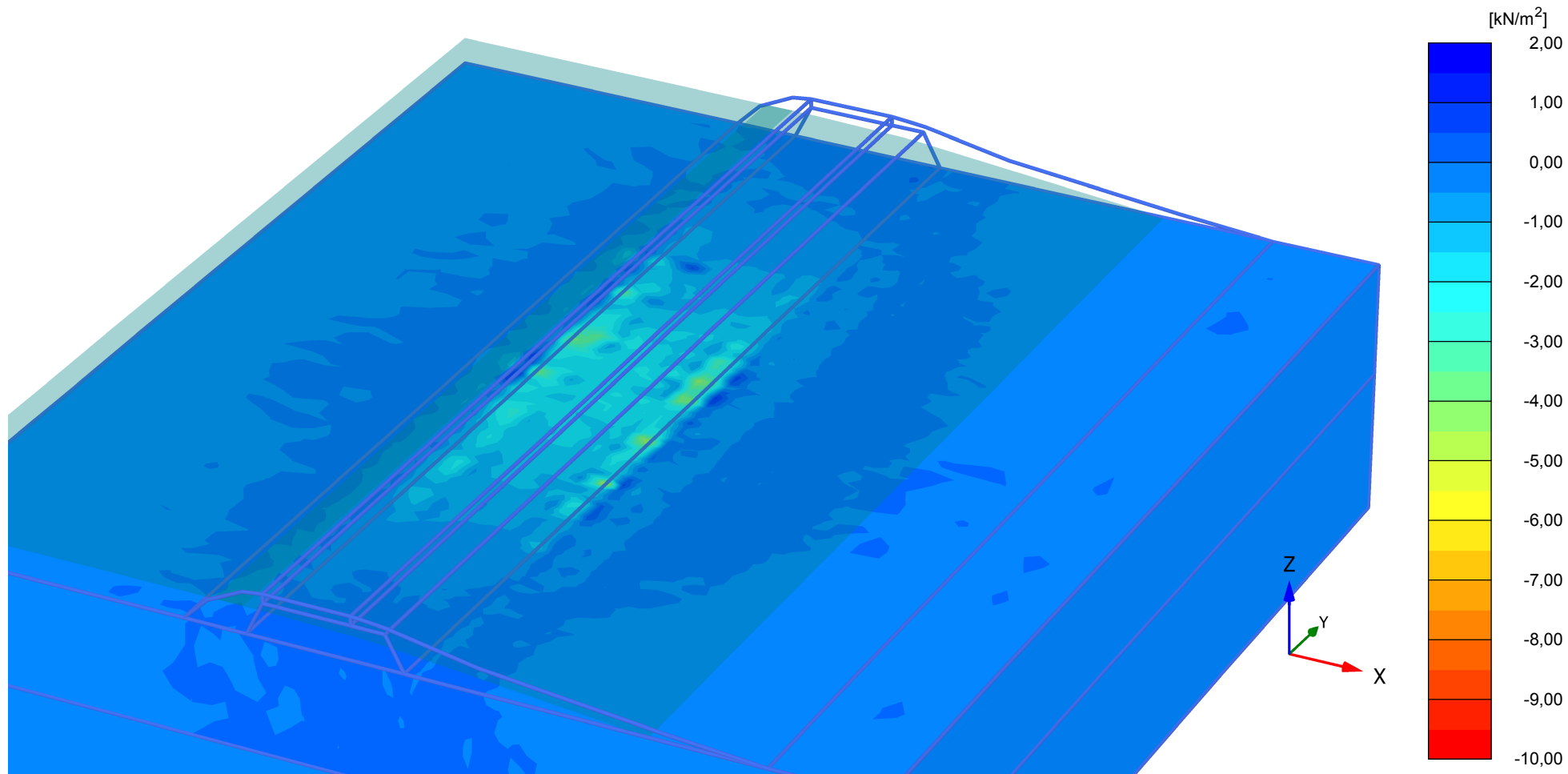
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

6

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 2,819 kN/m² (Element 3980 at Node 9136)

Minimum value = -5,942 kN/m² (Element 4254 at Node 4977)



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Fundering 4E - 3d-bel ...

Date

2-9-2014

Project filename

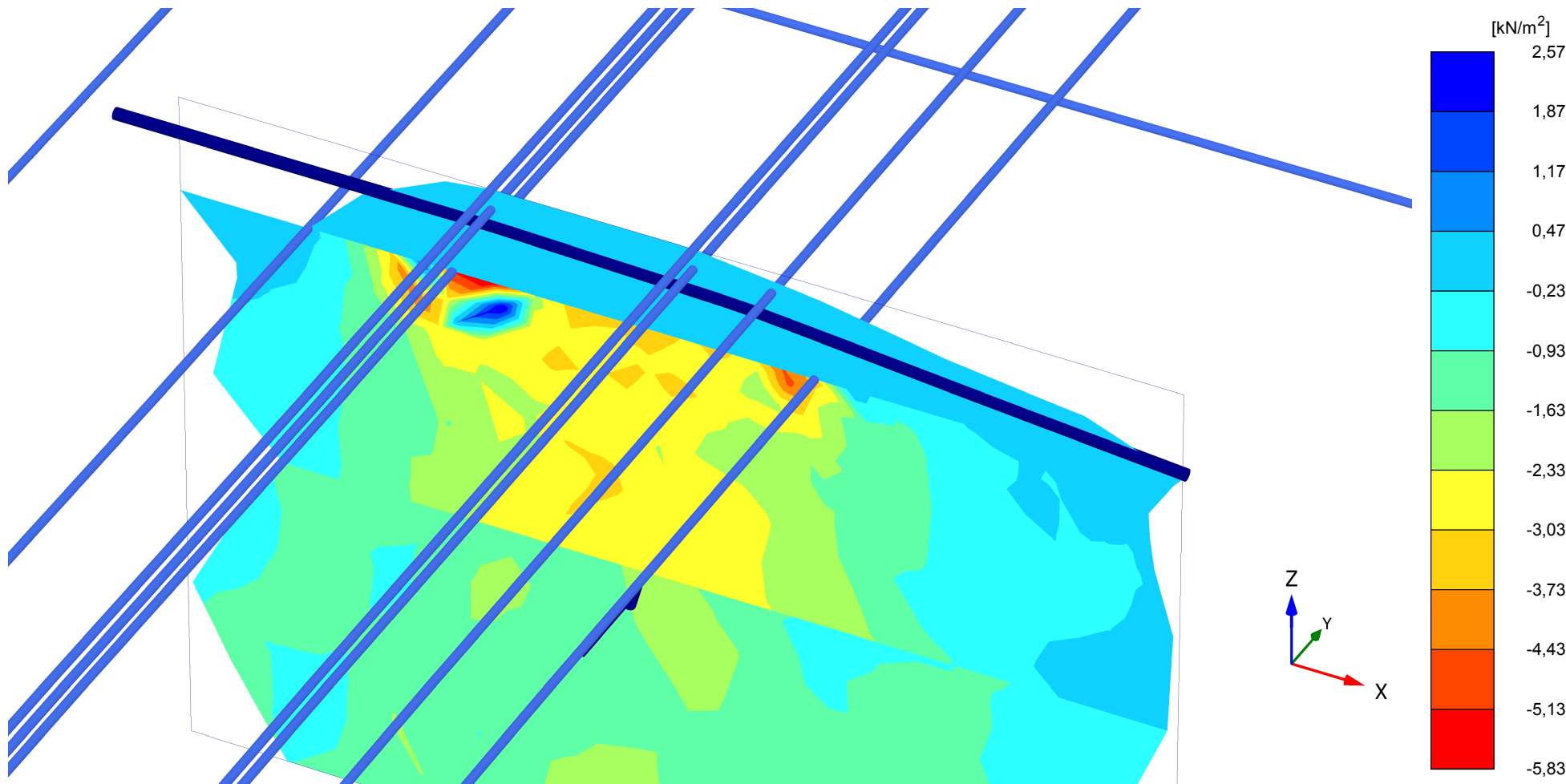
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

6

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 2,570 kN/m²

Minimum value = -5,835 kN/m²

Equivalent force is -238,4 kN at position (5,537, 24,999, -8,006) m



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Ondergrond 0,5E - 2d ...

Date

2-9-2014

Project filename

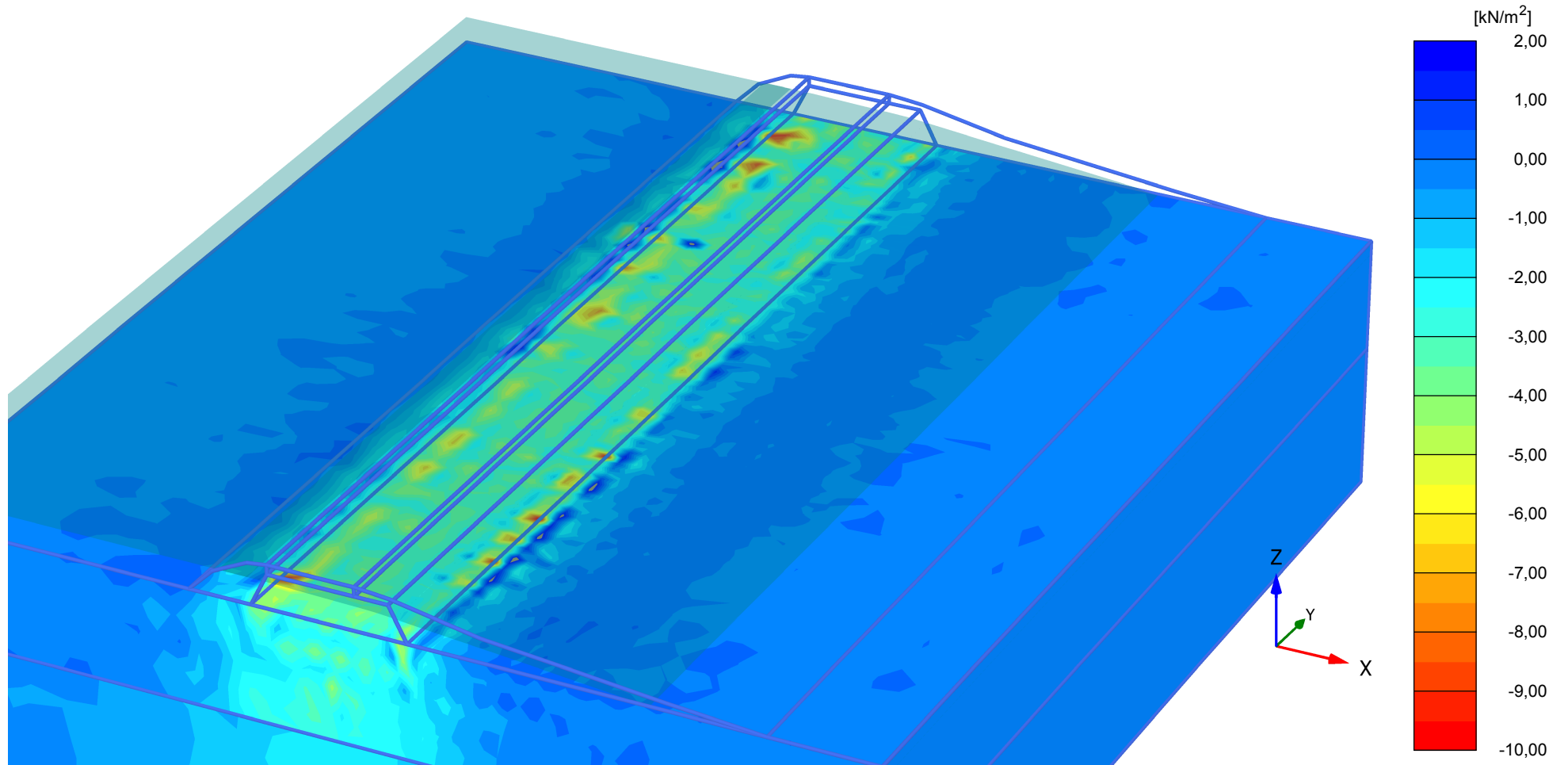
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

15

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 6,157 kN/m² (Element 3983 at Node 14452)

Minimum value = -10,64 kN/m² (Element 4260 at Node 2044)

PLAXIS

Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Ondergrond 0,5E - 2d ...

Date

2-9-2014

Project filename

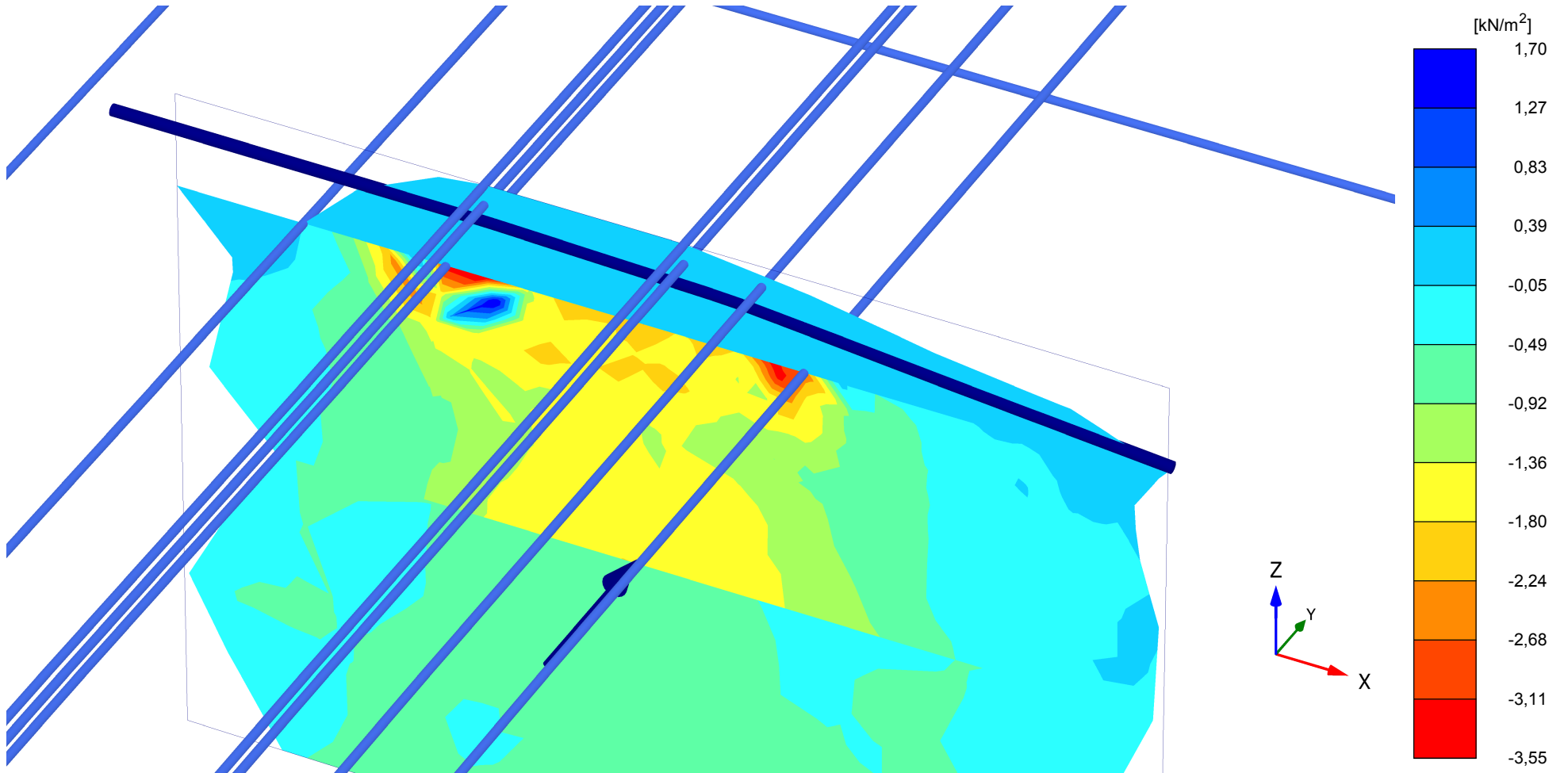
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

15

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 1,704 kN/m²

Minimum value = -3,552 kN/m²

Equivalent force is -123,9 kN at position (5,593, 24,999, -7,600) m



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Ondergrond 0,5E - 3d ...

Date

2-9-2014

Project filename

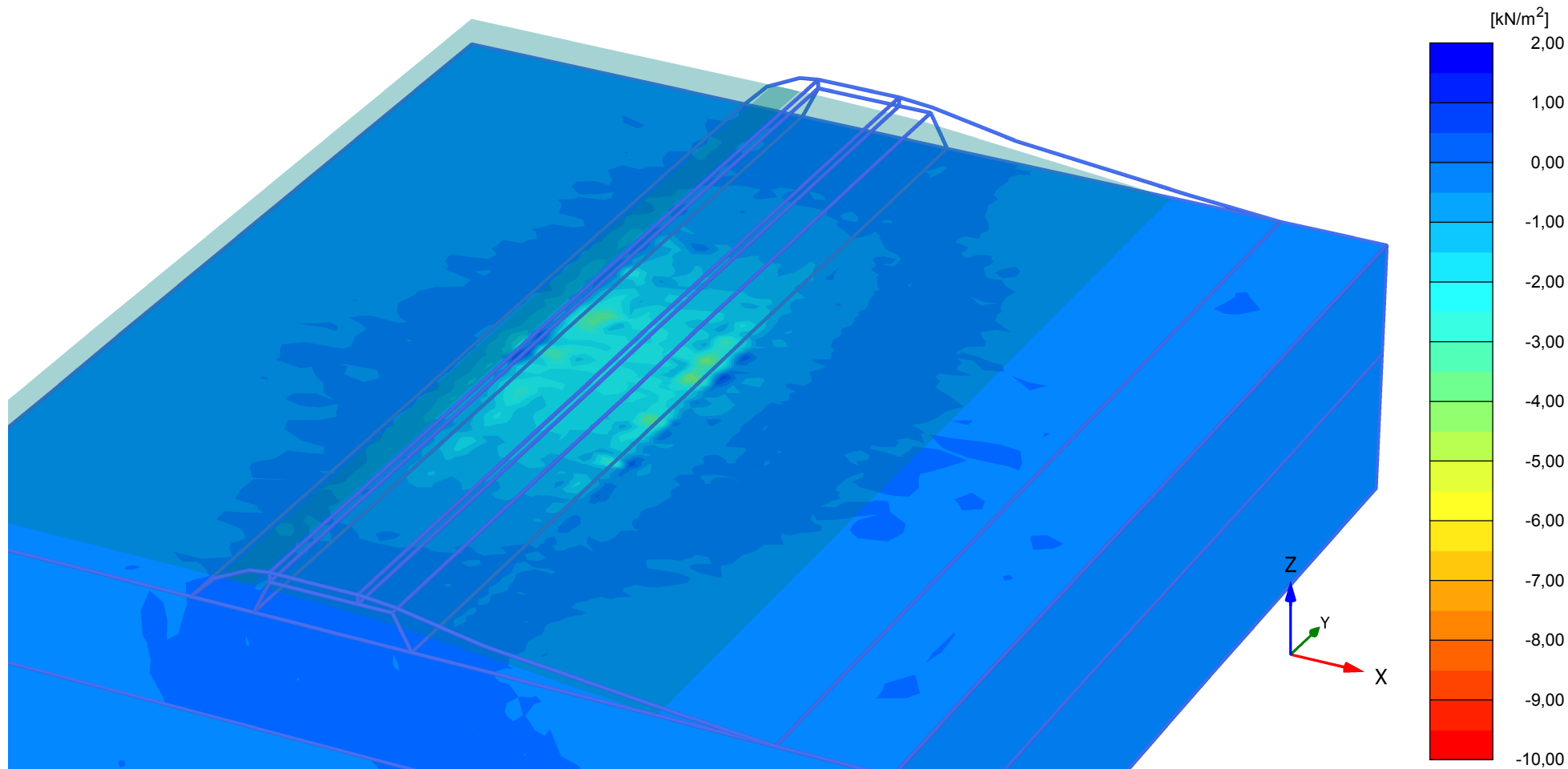
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

6

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 2,134 kN/m² (Element 3980 at Node 9136)

Minimum value = -4,634 kN/m² (Element 9130 at Node 11547)

PLAXIS

Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Ondergrond 0,5E - 3d ...

Date

2-9-2014

Project filename

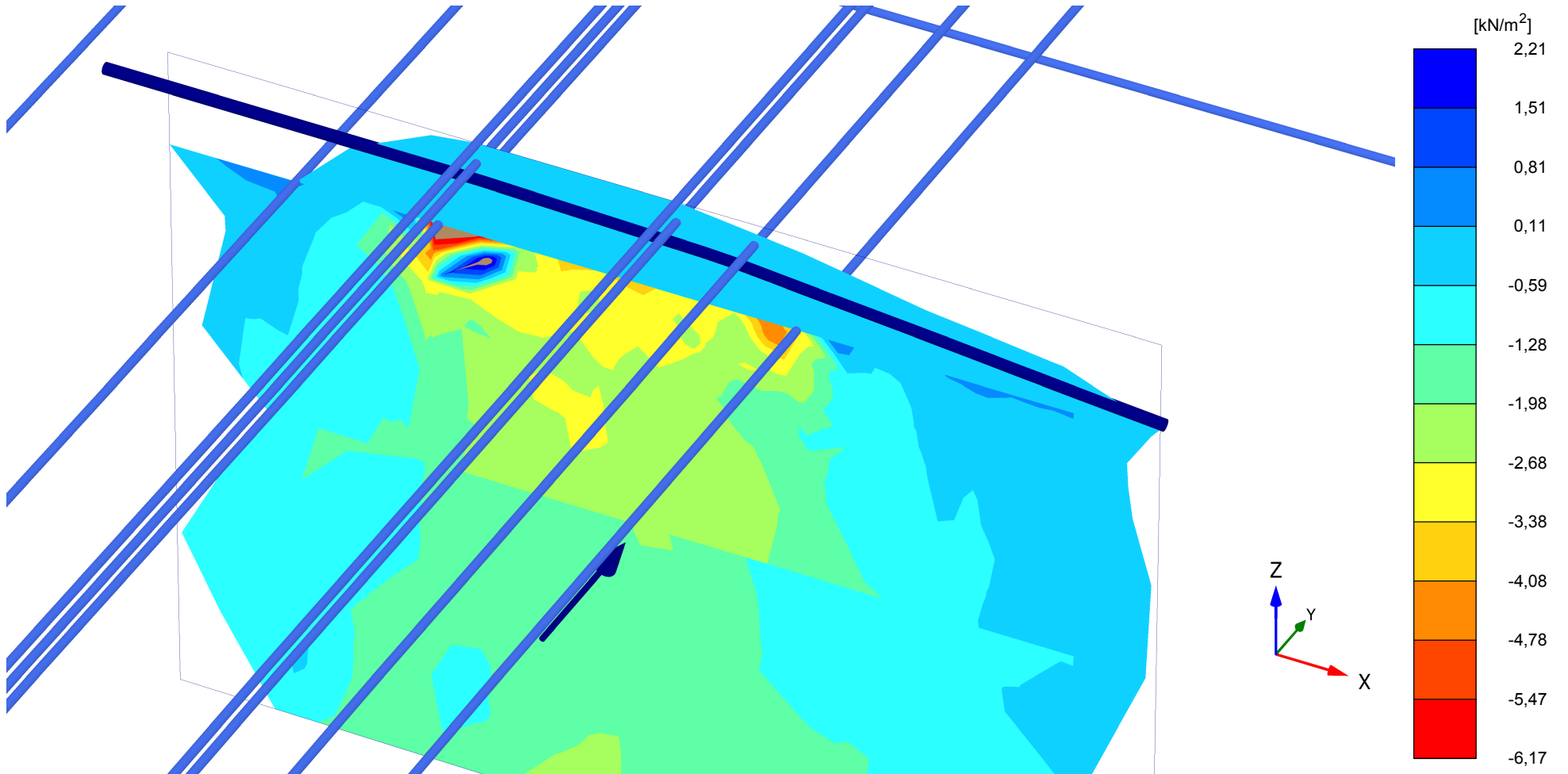
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

6

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 2,796 kN/m²

Minimum value = -8,197 kN/m²

Equivalent force is -234,0 kN at position (5,512, 24,999, -8,173) m



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Ondergrond 2E - 2d-b ...

Date

2-9-2014

Project filename

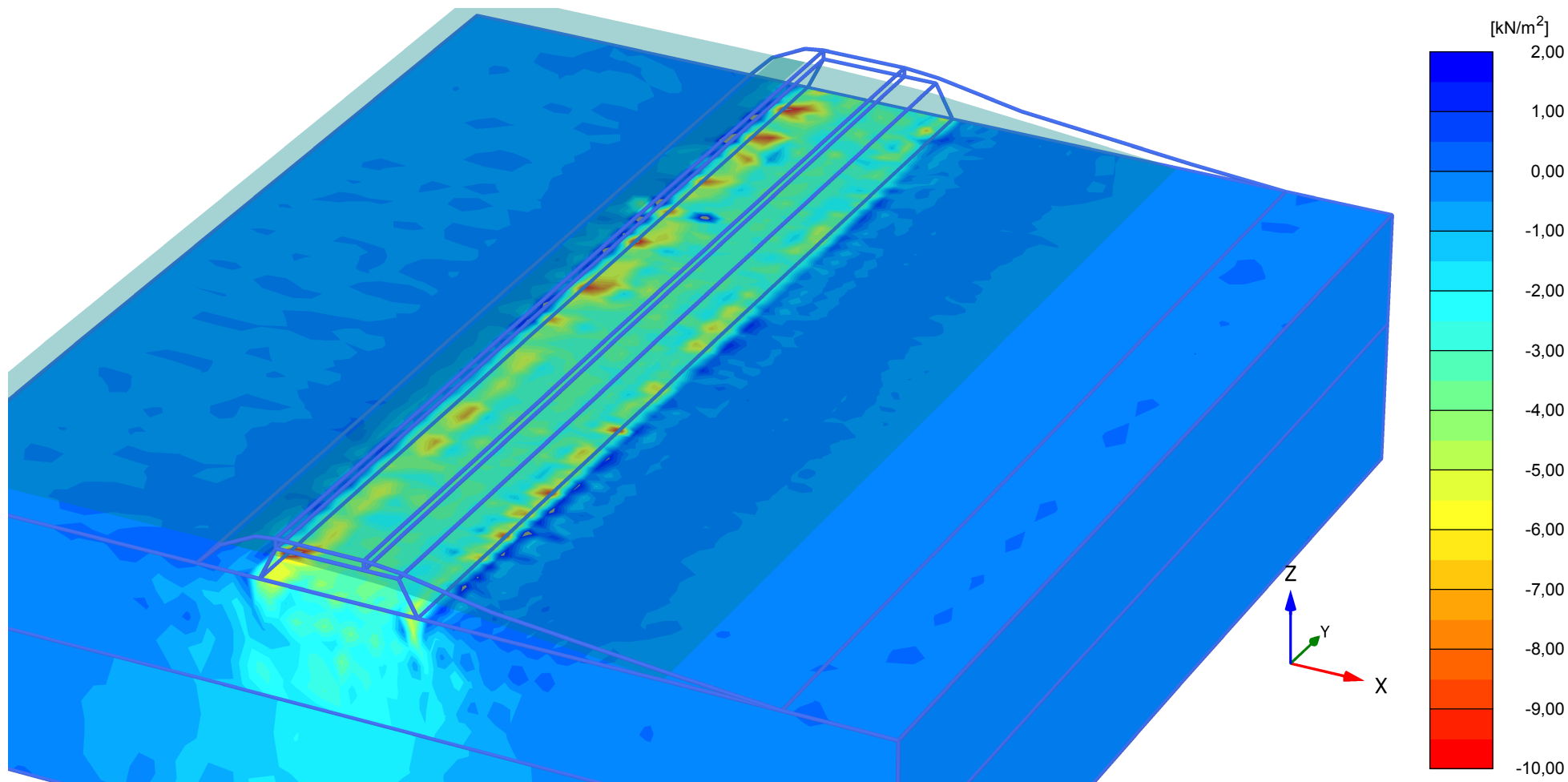
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

15

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 5,927 kN/m² (Element 3983 at Node 14452)

Minimum value = -12,81 kN/m² (Element 3760 at Node 957)

PLAXIS

Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Ondergrond 2E - 2d-b ...

Date

2-9-2014

Project filename

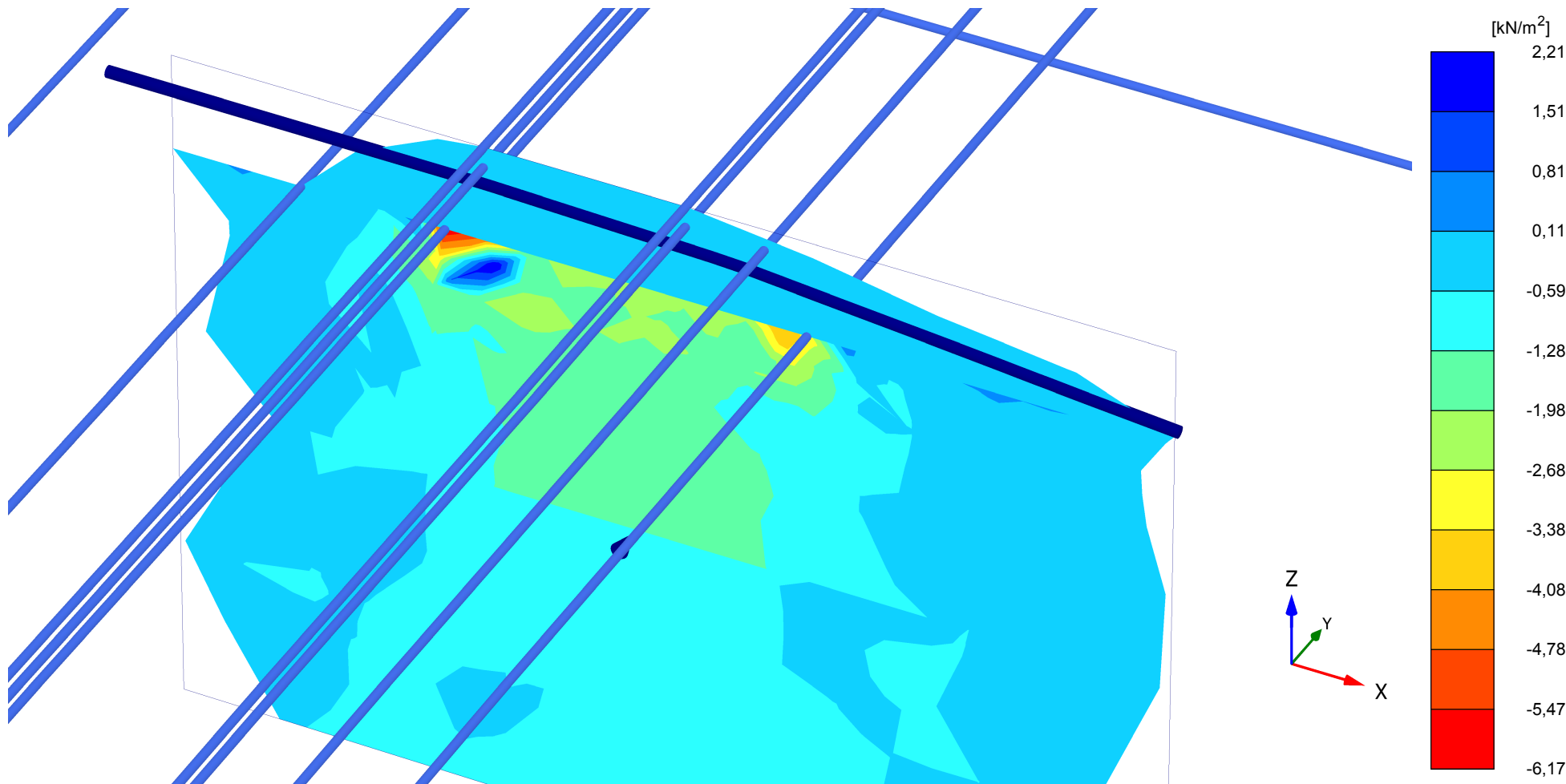
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

15

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 2,207 kN/m²

Minimum value = -6,173 kN/m²

Equivalent force is -131,4 kN at position (5,530, 24,999, -7,769) m



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Ondergrond 2E - 2d-b ...

Date

2-9-2014

Project filename

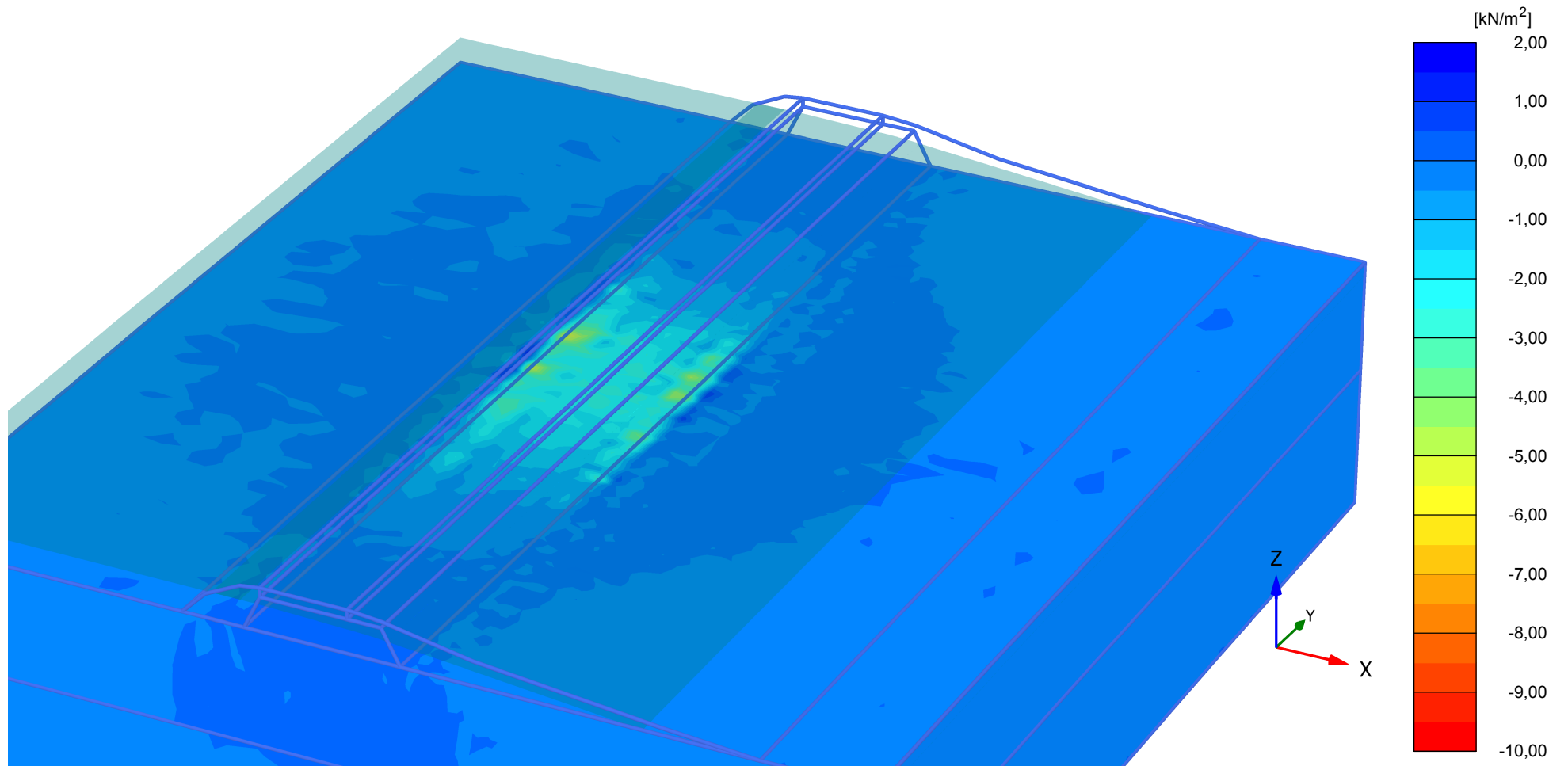
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

6

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 2,743 kN/m² (Element 3980 at Node 9136)

Minimum value = -6,362 kN/m² (Element 9145 at Node 11565)

PLAXIS

Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Ondergrond 2E - 3d-b ...

Date

2-9-2014

Project filename

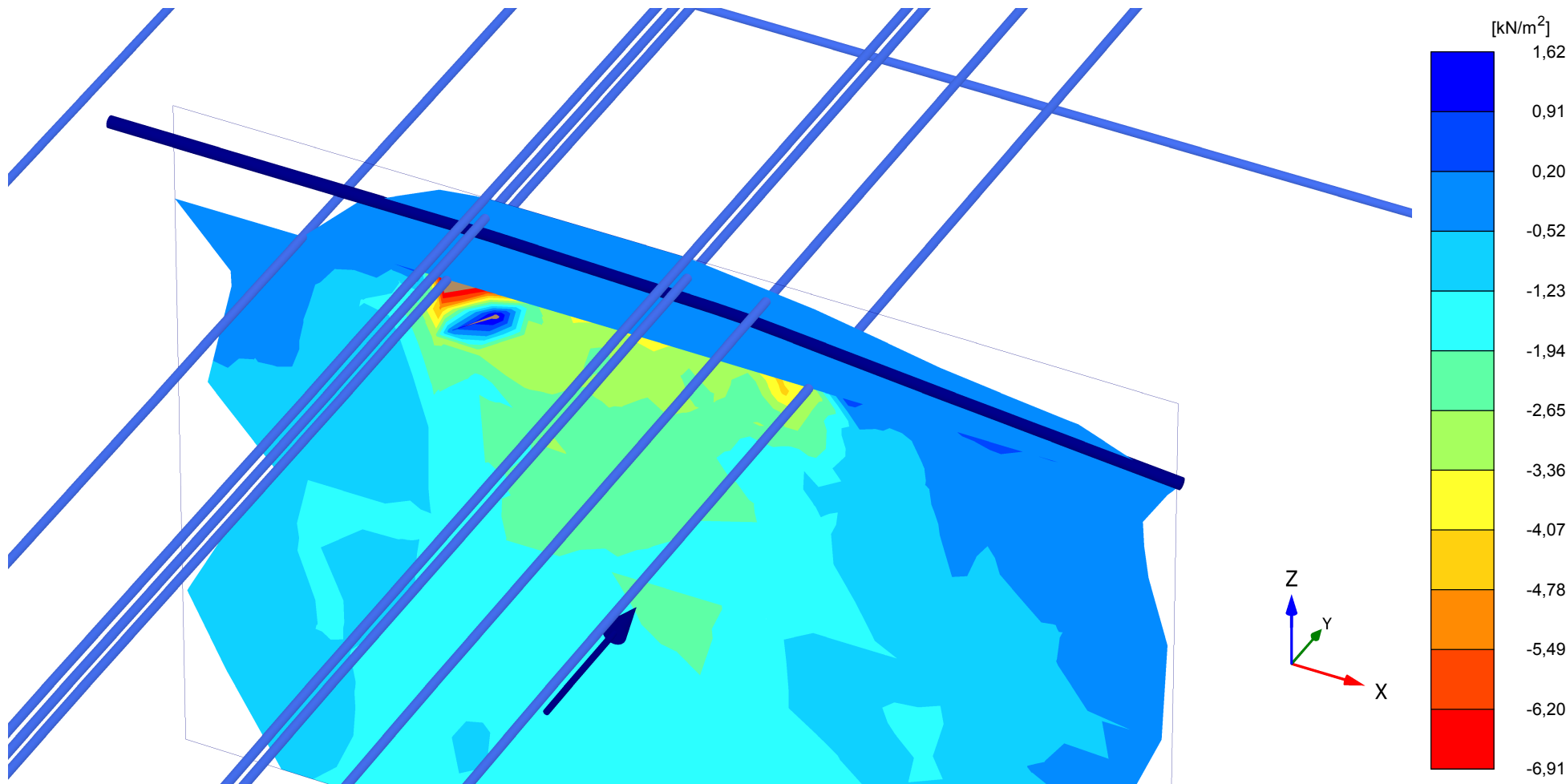
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

6

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 1,856 kN/m^2

Minimum value = -8,745 kN/m^2

Equivalent force is -232,0 kN at position (5,520, 24,999, -8,309) m



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Ondergrond 4E - 2d-b ...

Date

2-9-2014

Project filename

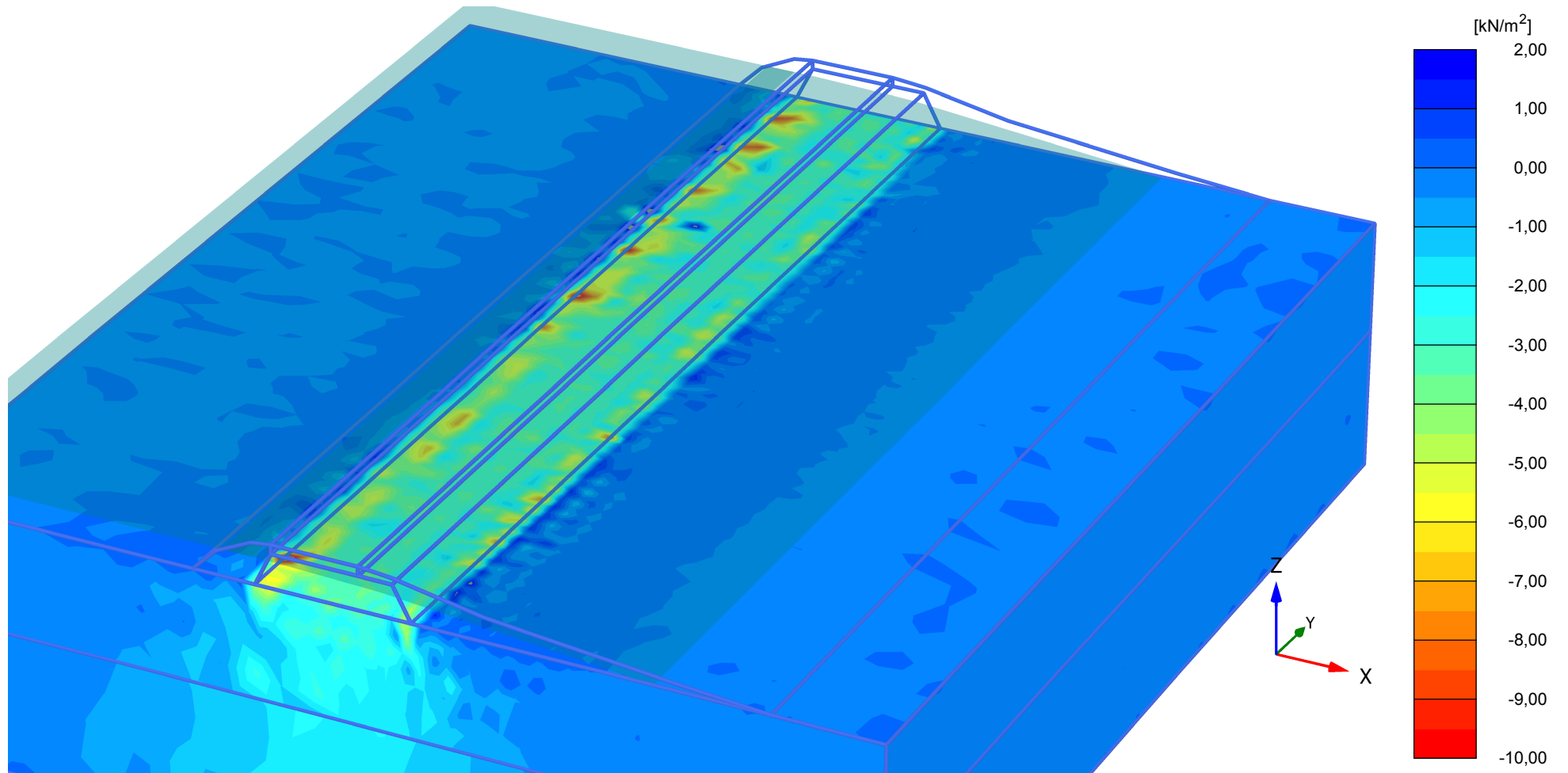
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

15

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 4,146 kN/m² (Element 3983 at Node 14452)

Minimum value = -12,27 kN/m² (Element 3760 at Node 957)



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Ondergrond 4E - 2d-b ...

Date

2-9-2014

Project filename

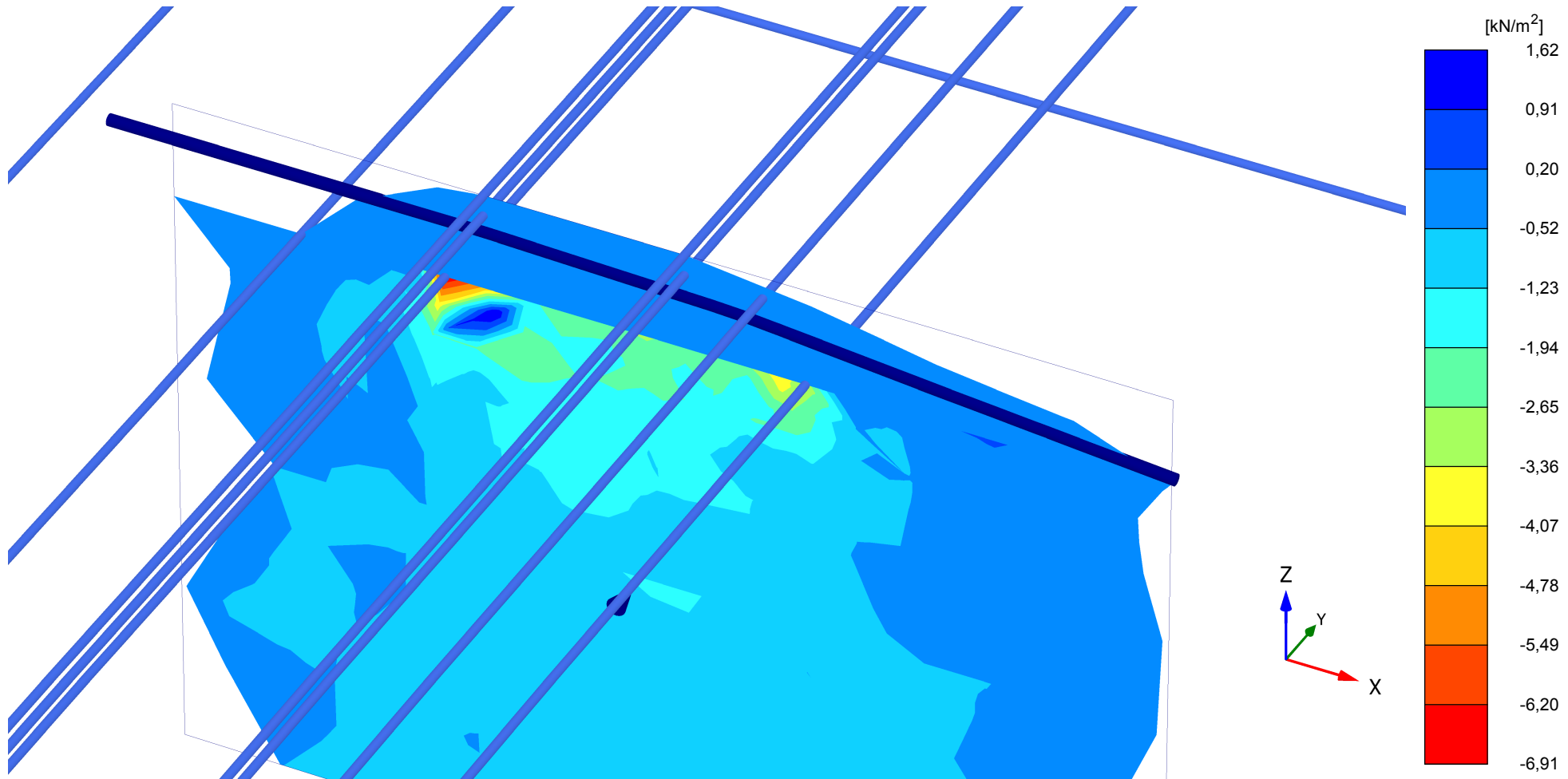
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

15

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 1,616 kN/m²

Minimum value = -6,909 kN/m²

Equivalent force is -130,8 kN at position (5,521, 24,999, -7,944) m



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Ondergrond 4E - 3d-b ...

Date

2-9-2014

Project filename

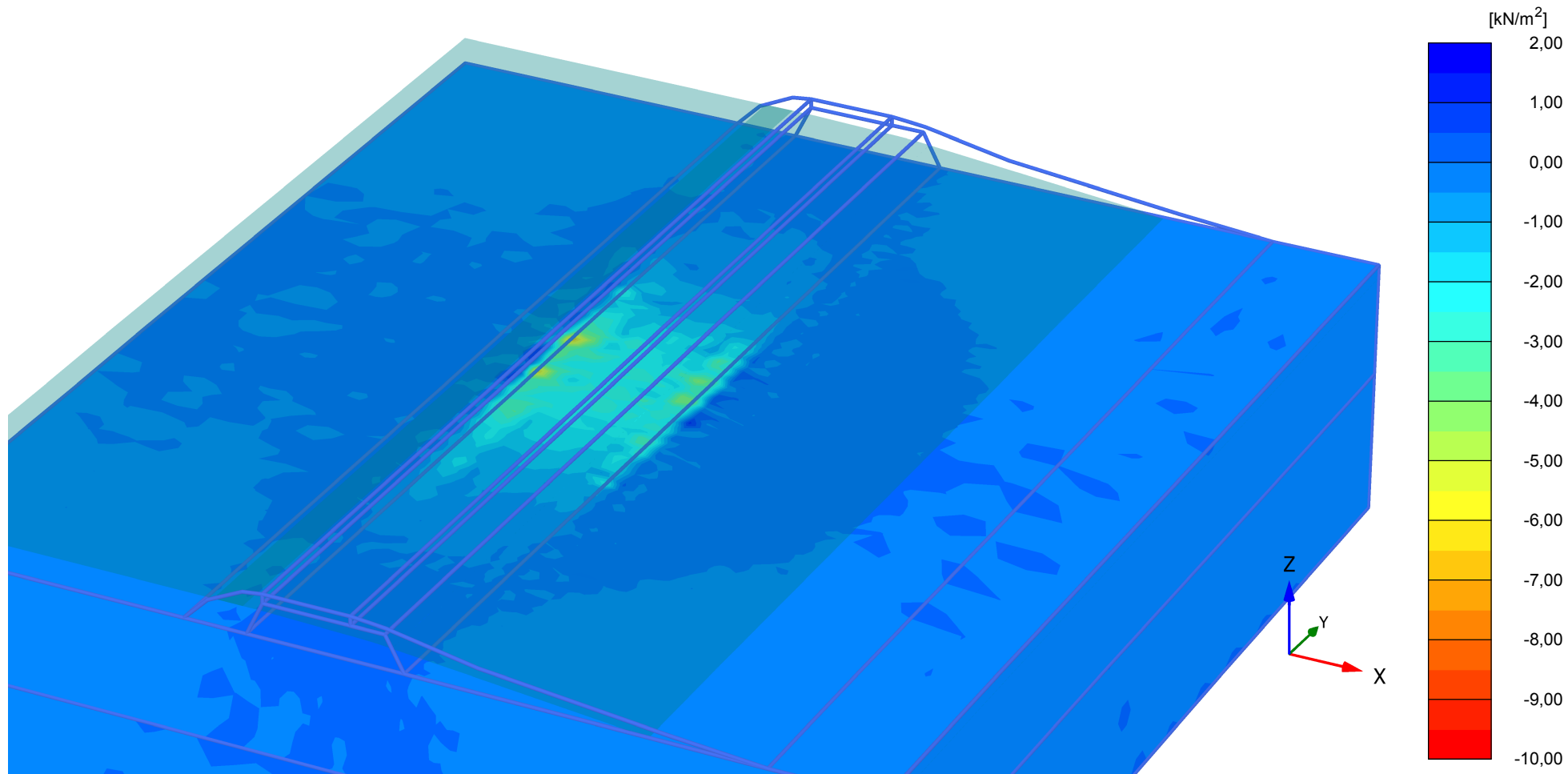
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

6

User name

ARCADIS Nederland BV



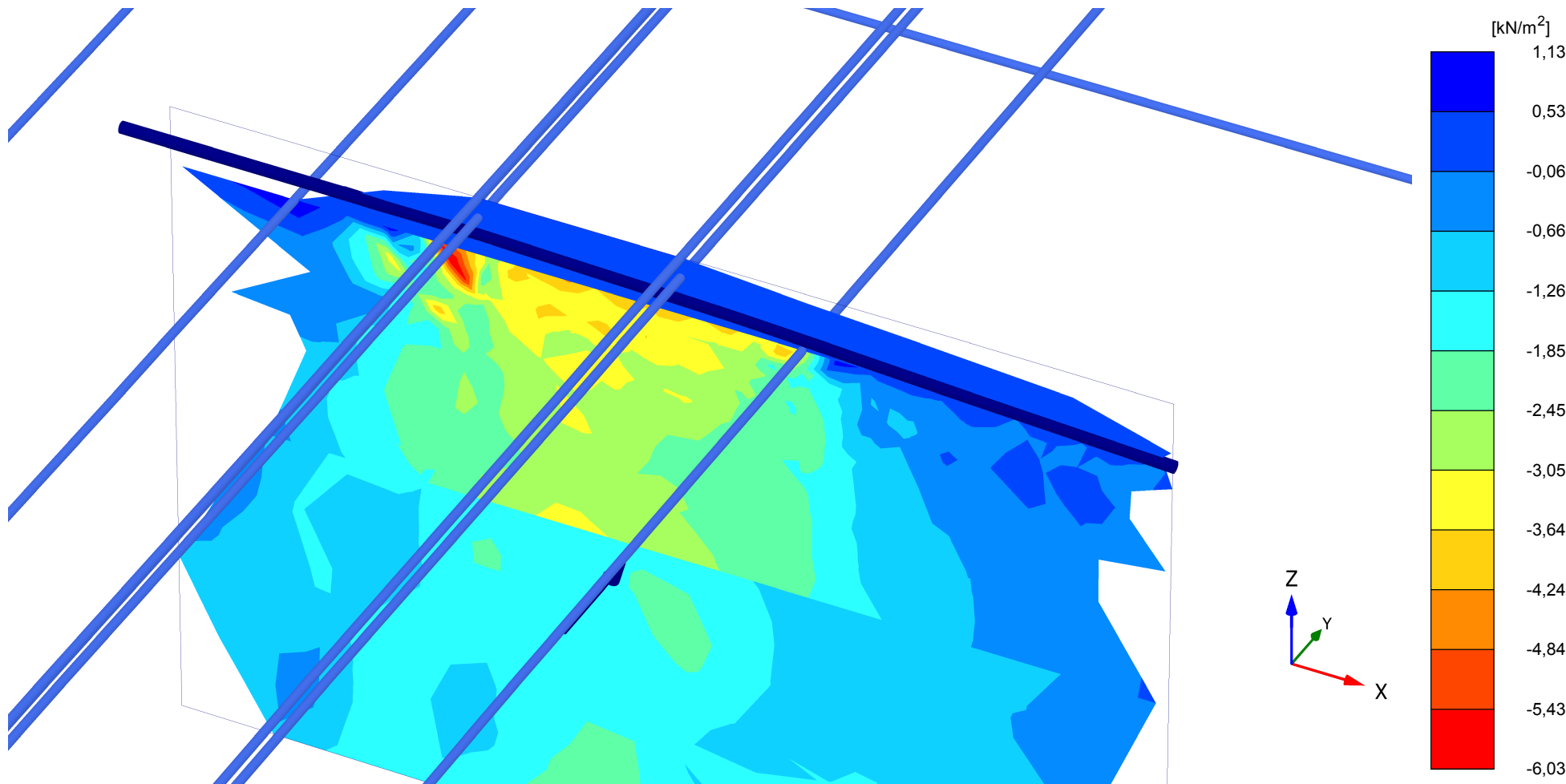
Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 2,105 kN/m² (Element 3980 at Node 9136)

Minimum value = -7,265 kN/m² (Element 9145 at Node 11565)



<i>Project description</i>		<i>Date</i>	
Verkeersbelasting Zevenhuizen Ondergrond 4E - 3d-b ...		2-9-2014	
<i>Project filename</i>	<i>Step</i>	<i>User name</i>	
Verkeersbelasting Zeven ...	6	ARCADIS Nederland BV	



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 1,131 kN/m²

Minimum value = -6,029 kN/m²

Equivalent force is -236,2 kN at position (5,467, 24,999, -8,084) m



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Fundering 0,5D - 2d-b ...

Date

2-9-2014

Project filename

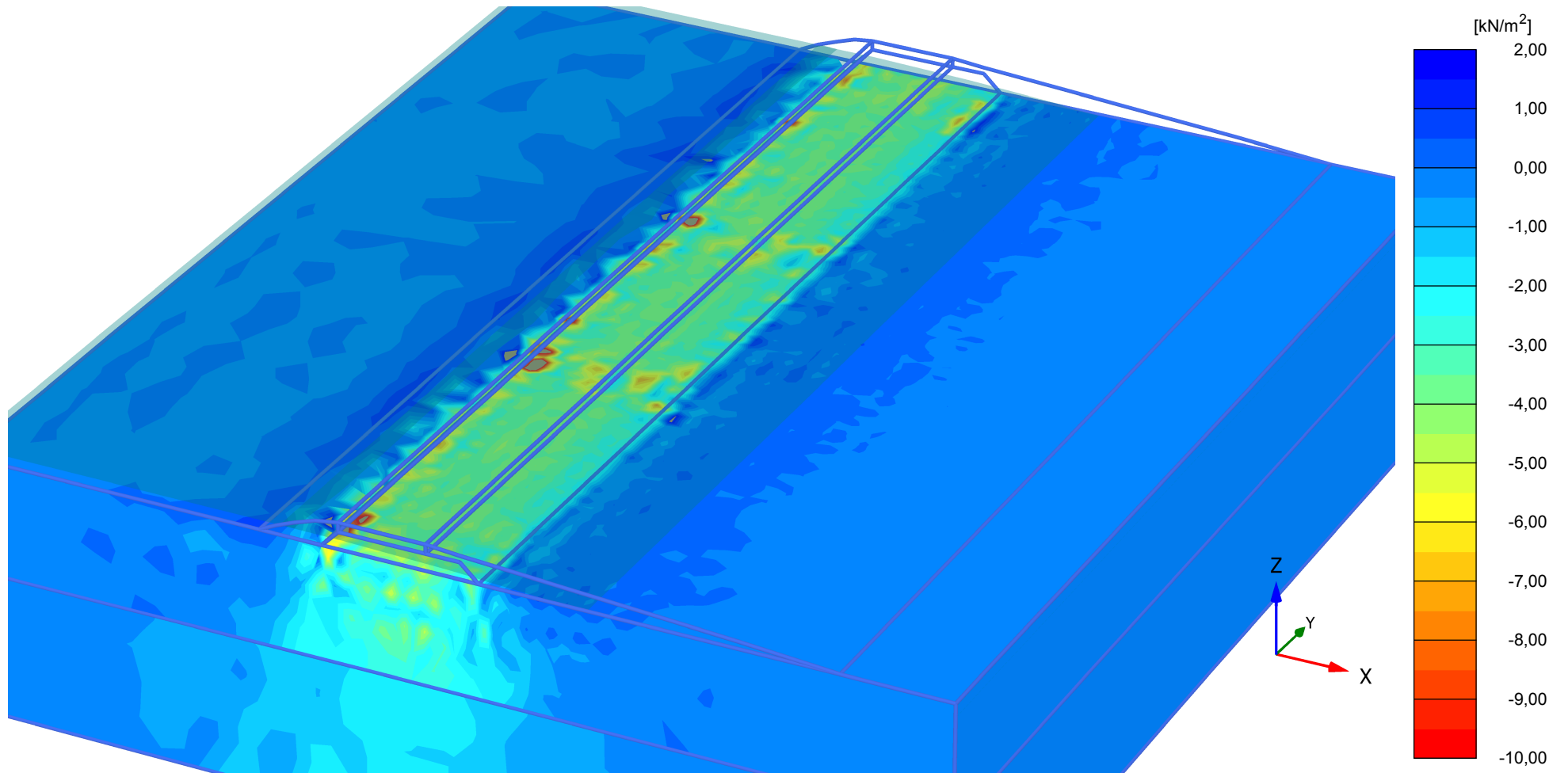
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

26

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 3,888 kN/m² (Element 4543 at Node 12491)

Minimum value = -14,95 kN/m² (Element 4544 at Node 14175)

PLAXIS

Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Fundering 0,5D - 2d-b ...

Date

2-9-2014

Project filename

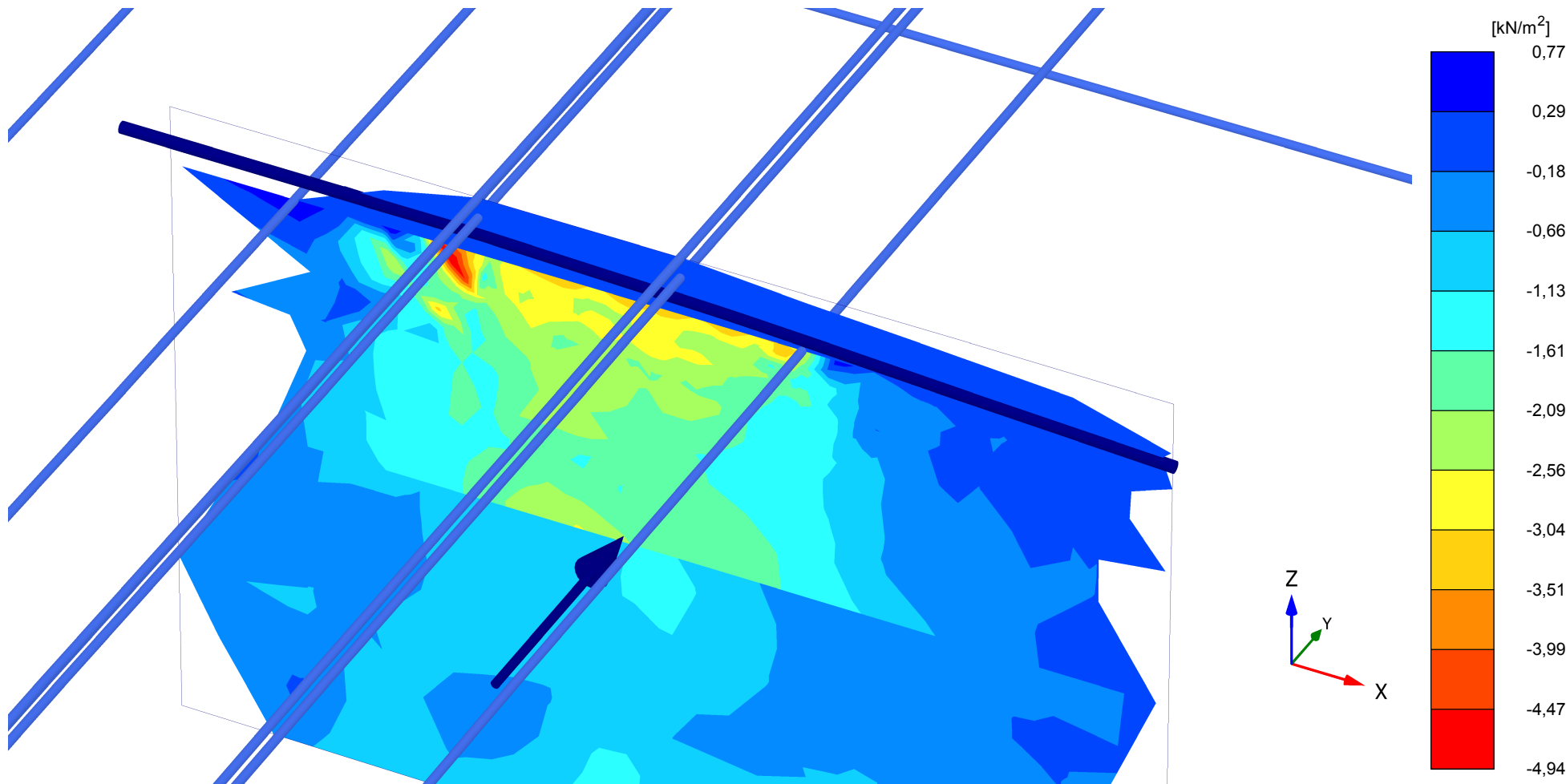
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

26

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 0,7701 kN/m²

Minimum value = -4,943 kN/m²

Equivalent force is -149,1 kN at position (5,411, 24,999, -7,564) m



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Fundering 0,5D - 3d-b ...

Date

2-9-2014

Project filename

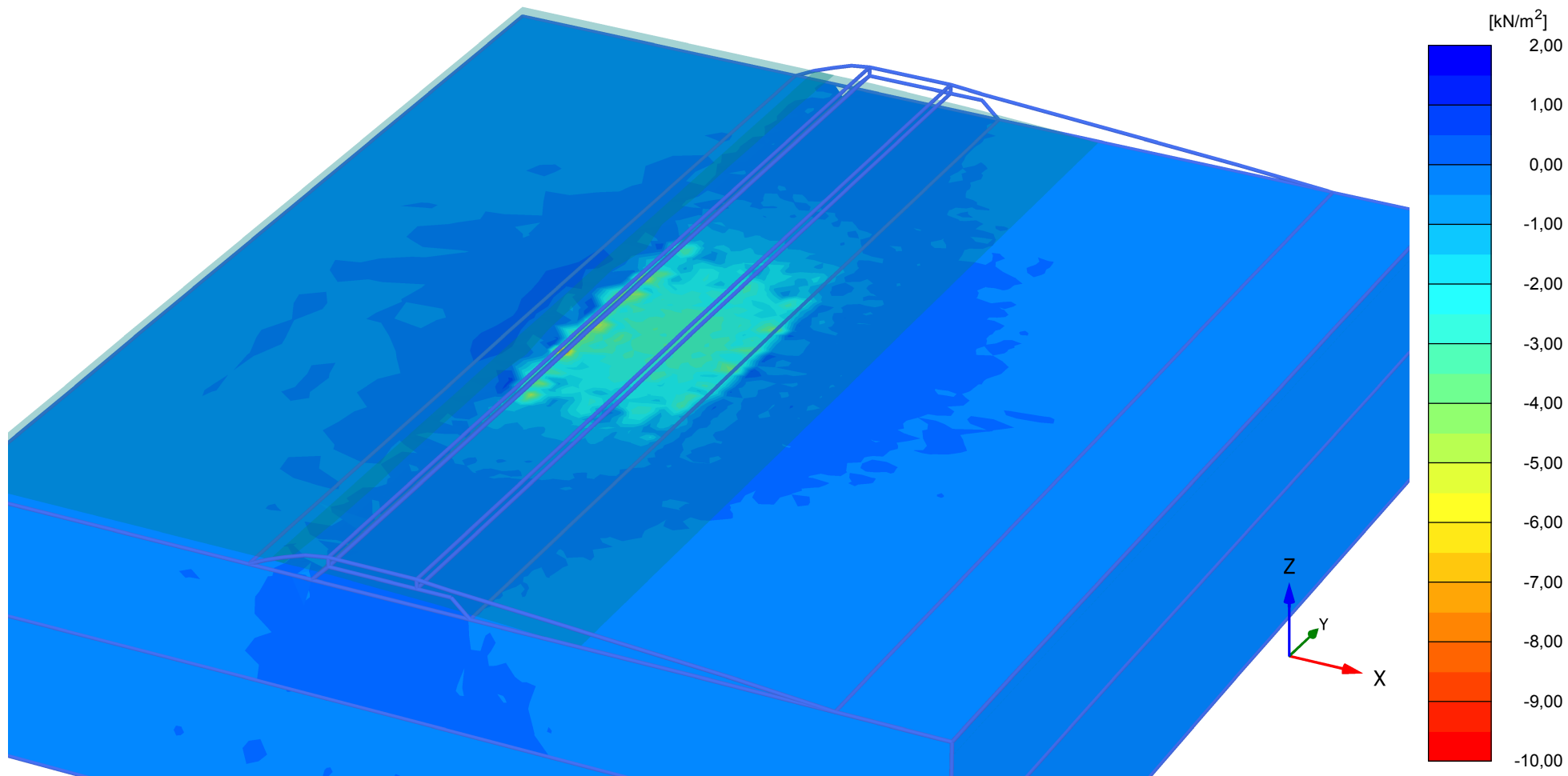
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

23

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 1,394 kN/m² (Element 4543 at Node 12491)

Minimum value = -8,803 kN/m² (Element 4540 at Node 12871)



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Fundering 0,5D - 3d-b ...

Date

2-9-2014

Project filename

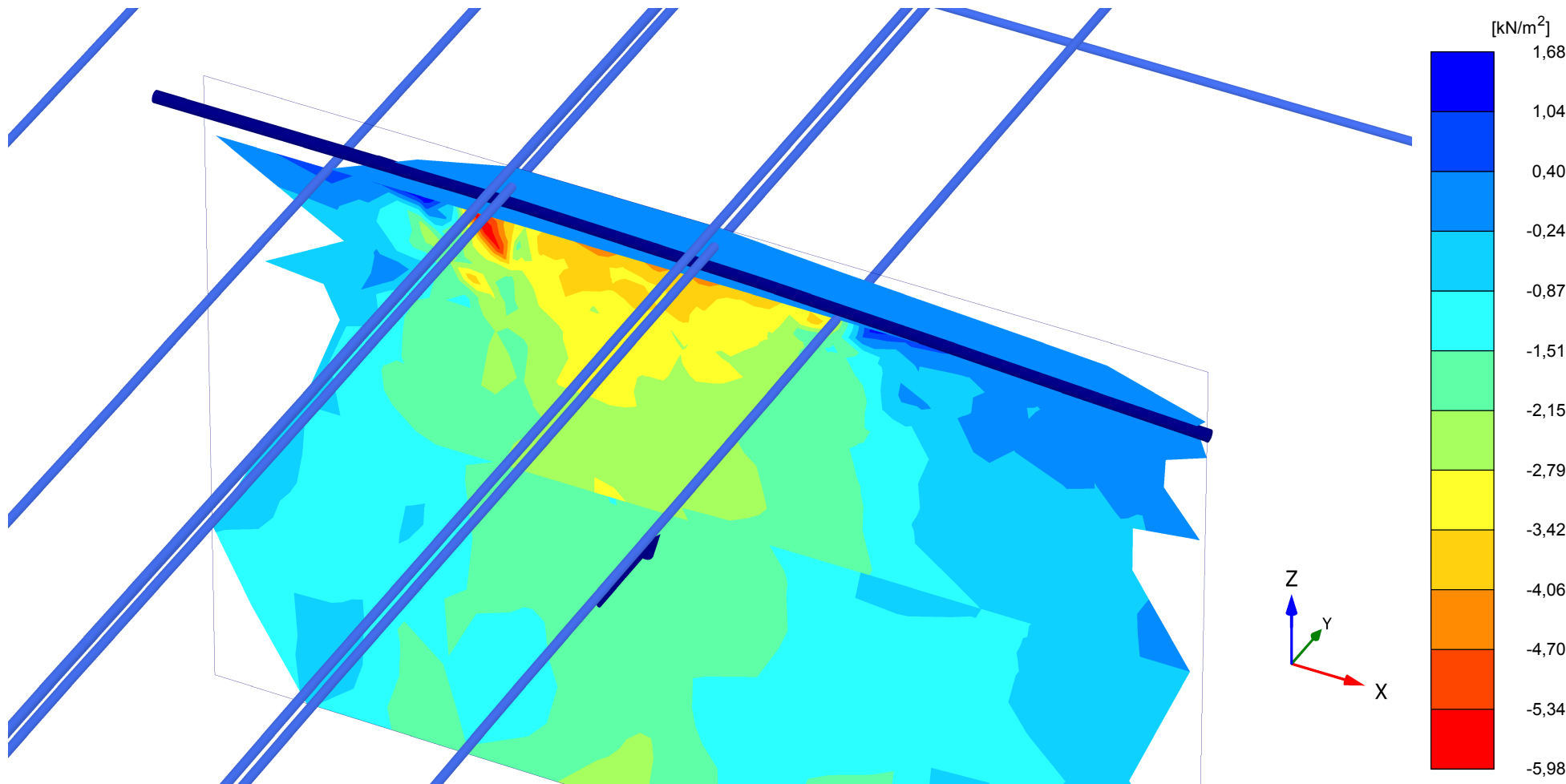
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

23

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 1,678 kN/m²

Minimum value = -5,976 kN/m²

Equivalent force is -233,8 kN at position (5,469, 24,999, -8,183) m



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Fundering 0,5D+Onde ...

Date

2-9-2014

Project filename

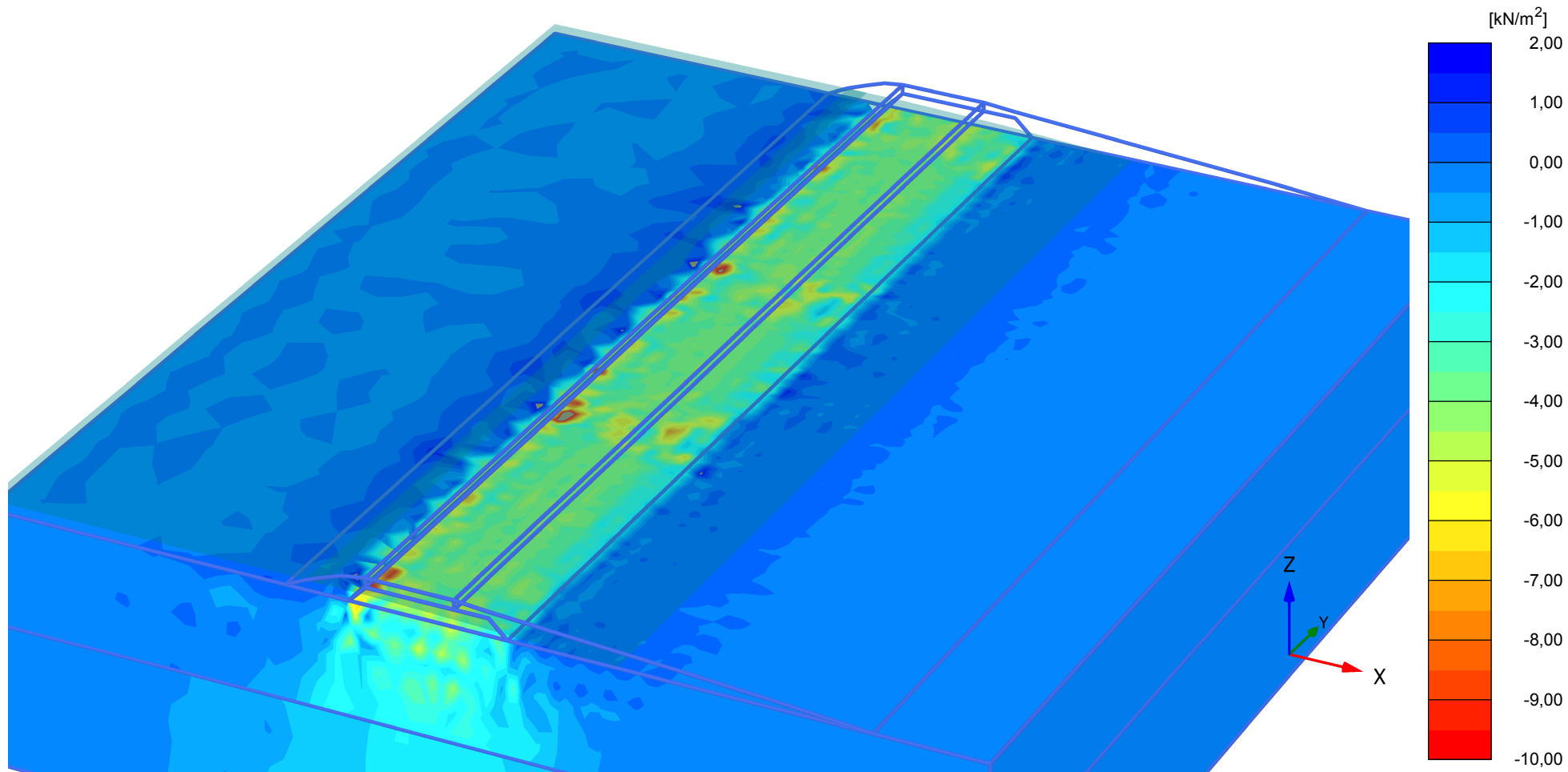
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

22

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 2,873 kN/m² (Element 3774 at Node 7173)

Minimum value = -12,95 kN/m² (Element 4544 at Node 14175)

PLAXIS

Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Fundering 0,5D+Onde ...

Date

2-9-2014

Project filename

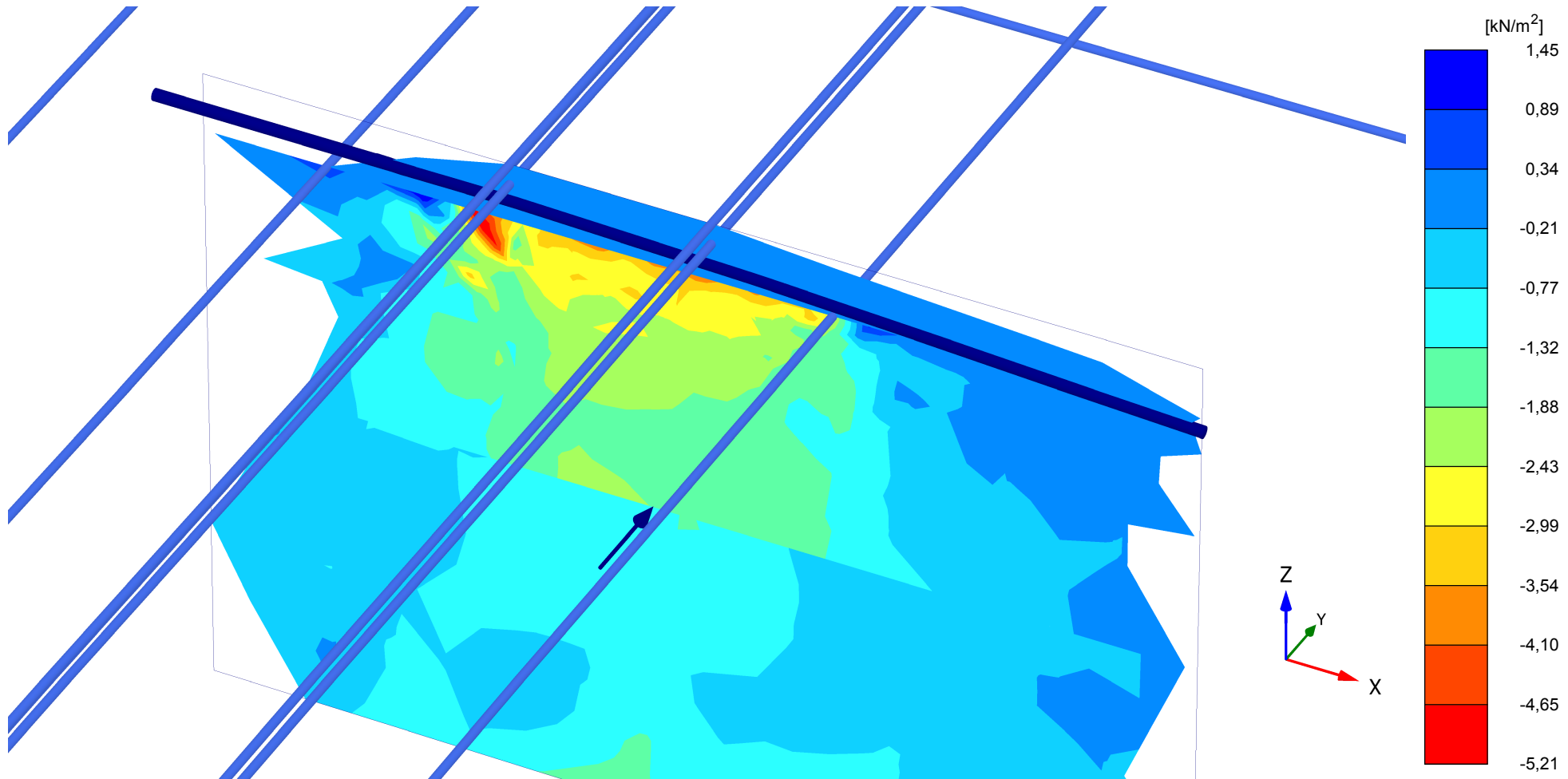
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

22

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 1,449 kN/m²

Minimum value = -5,206 kN/m²

Equivalent force is -149,7 kN at position (5,387, 24,999, -7,679) m



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Fundering 0,5D+Onde ...

Date

2-9-2014

Project filename

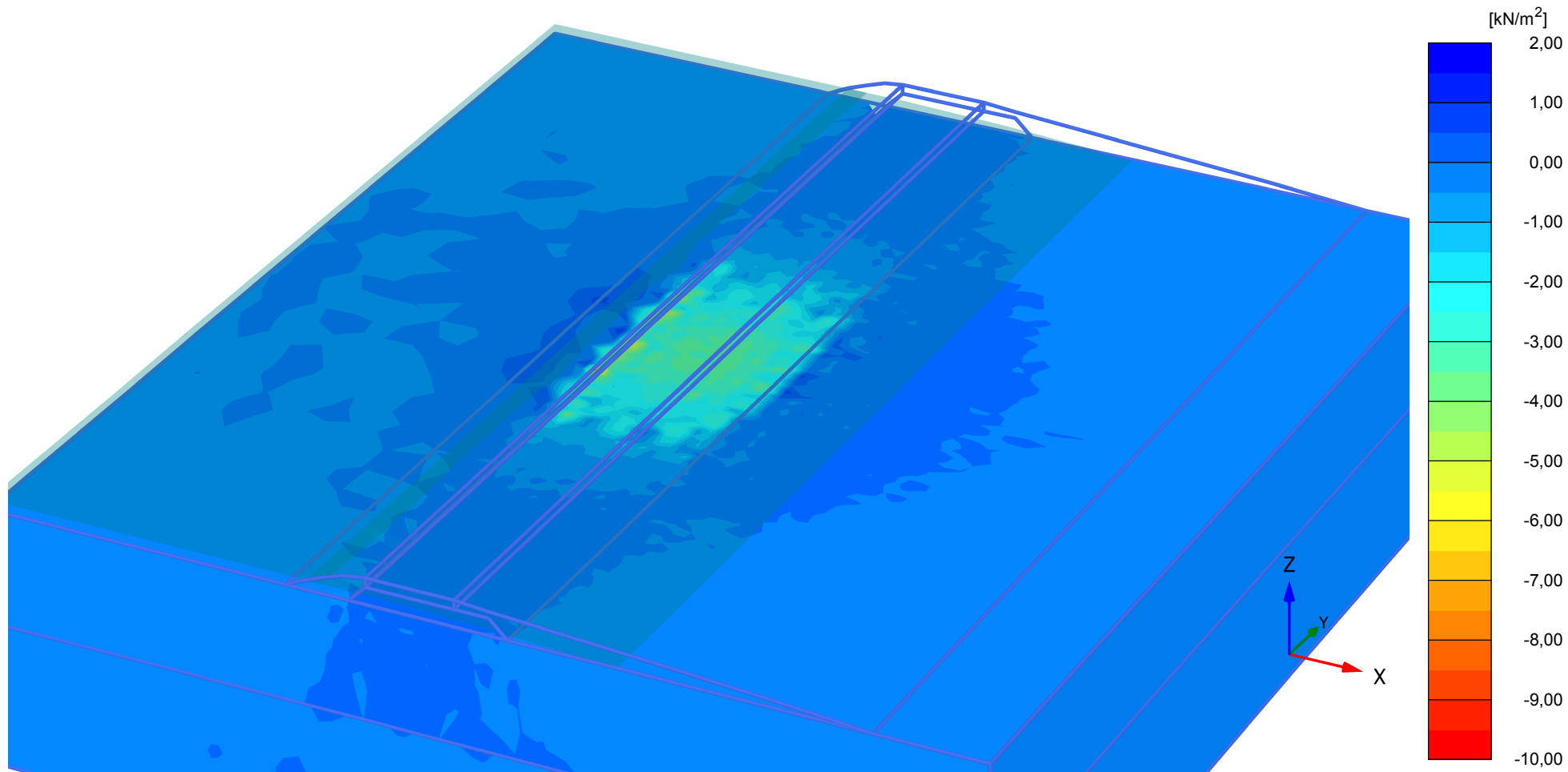
Verkeersbelasting Zeven ...

Step

19

User name

ARCADIS Nederland BV



Excess pore pressures p_{excess} (Pressure = negative)

Maximum value = 1,582 kN/m² (Element 3768 at Node 9853)

Minimum value = -8,565 kN/m² (Element 4540 at Node 12871)



Project description

Verkeersbelasting Zevenhuizen Fundering 0,5D+Onde ...

Date

2-9-2014

Project filename

Verkeersbelasting Zeven ...

Step

19

User name

ARCADIS Nederland BV